

8. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA CROATIAN WATER CONFERENCE

S MEĐUNARODNIM SUDJELOVANJEM / WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION



HRVATSKE VODE U PROIZVODNJI HRANE I ENERGIJE CROATIAN WATERS IN FOOD AND ENERGY PRODUCTION

ZBORNİK RADOVA / PROCEEDINGS

POREČ, 23. - 25. studeni/November 2023.



8. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
S MEĐUNARODNIM SUDJELOVANJEM

**HRVATSKE VODE
U PROIZVODNJI
HRANE I ENERGIJE**

*8th CROATIAN WATER CONFERENCE
WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION*

**CROATIAN WATERS
IN FOOD AND ENERGY
PRODUCTION**

**ZBORNİK RADOVA
*PROCEEDINGS***

POREČ

23. - 25. STUDENI (NOVEMBER) 2023.

Izdavač:

HRVATSKE VODE
Zagreb, Ulica grada Vukovara 220

Uredništvo

doc. dr. sc. Danko Biondić
doc. dr. sc. Danko Holjević
Marija Vizner, dipl.ing.

Likovno rješenje ovitka

MIODIO d.o.o. Rijeka

Grafička priprema

DIO d.o.o. Rijeka

ISBN: 978-953-7672-29-4

CIP zapis dostupan u računalnome katalogu
Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu
pod brojem 001205173

Autori su u potpunosti odgovorni za sve što je iznijeto u njihovim radovima. Izdavač, uredništvo Zbornika radova, te članovi Znanstveno - stručnog i Organizacijskog odbora 8. hrvatske konferencije o vodama u svezi s time ne snose nikakvu odgovornost.

8. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
8th CROATIAN WATER CONFERENCE

**HRVATSKE VODE U PROIZVODNJI
HRANE I ENERGIJE**

*CROATIAN WATERS IN
FOOD AND ENERGY PRODUCTION*

**ZBORNİK RADOVA
*PROCEEDINGS***

UREDNIŠTVO
EDITORS

DANKO BIONDIĆ
DANKO HOLJEVIĆ
MARIJA VIZNER

POREČ, 2023.

SADRŽAJ

UVOD	17
------------	----

REFERATI PO POZIVU

P.01. Elizabeta Kos, Miro Macan, Marija Čulinović Holjevac NAJZNAČAJNIJE AKTIVNOSTI UPRAVE VODNOGA GOSPODARSTVA I ZAŠTITE MORA U RAZDOBLJU OD 7. DO 8. HRVATSKE KONFERENCIJE O VODAMA	23
P.02. Zoran Đuroković AKTUALNI IZAZOVI HRVATSKIH VODA	37
P.03. Sanja Barbalić, Danko Biondić PLAN UPRAVLJANJA VODNIM PODRUČJIMA DO 2027.	71
P.04. Dragan Zeljko, Jovana Rašeta Bastić, Mirza Sarač SAVSKA KOMISIJA - PRIMJER DOBRE PRAKSE U MEĐUNARODNOJ SURADNJI	99
P.05. Martin Grambow, Bernhard Simon „WATER FUTURE BAVARIA 2050“ - THE NEW OVERALL WATER STRATEGY OF BAVARIA	107

TEMA 1. STANJE VODA I O VODI OVISNIH EKOSUSTAVA, HIDROLOŠKI EKSTREMI I NJIHOVE POSLJEDICE, TRENDОВI - OBORINE, KOPNE NE POVRŠINSKE VODE, PODZEMNE VODE, PRIJELAZNE VODE I PRIOBALNO MORE

R 1.01. Elvis Žic, Nevenka Ožanić, Marta Marija Bilić SIGURNOST I OČUVANJE VODE POD UTJECAJEM KLIMATSKIH PROMJENA	119
R 1.02. Elvis Žic, Nevenka Ožanić, Goran Volf IMPLIKACIJE KLIMATSKIH PROMJENA NA NAVODNJAVANJE, ODVODNJU I UPRAVLJANJE POPLAVAMA	129
R 1.03. Lidija Tadić, Tamara Brleković, Josip Janjić PRILAGODBA VODOTOKA SLIVA DRAVE I DUNAVA KLIMATSKIM PROMJENAMA	139
R 1.04. Siniša Maričić VARIJACIJE HIDROLOŠKIH I METEOROLOŠKIH PARAMETARA U SLAVONIJI	149
R 1.05. Tamara Brleković, Lidija Tadić, Josip Janjić, Joao Filipe Santos ANALIZA POJAVNOSTI SUŠA I POPLAVA U OSIJEKU	161
R 1.06. Jure Margeta KLIMATSKЕ PROMJENE I DRUŠTVENO - HIDROLOŠKI EFEKTI U DONJEM TOKU NERETVE	169

R 1.07.	Julija Prpić, Damir Tomas, Stjepan Kamber UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA U OBALNOM PODRUČJU I SUZBIJANJE POSLJEDICA - TALIJANSKO - HRVATSKA SURADNJA (INTERREG)	179
R 1.08.	Ivana Sušanĳ Čule, Goran Volf, Nevenka Ožanić, Barbara Karleuša REZULTATI HIDROLOŠKIH MJERENJA I STANJE KVALITETE VODA MALIH VODNIH RESURSA	187
R 1.09.	Vedran Ivezić KORIŠTENJE DALJINSKIH MJERENJA ZA ODREĐIVANJE HIDROLOŠKIH VELIČINA	197
R 1.10.	Anna Maria Mihel, Nino Krvavica, Jonatan Lerga, Dijana Oskoruš PRIMJENA UMJETNE INTELIGENCIJE U PROCJENI HIDROLOŠKIH PARAMETARA PRIOBALNIH RIJEKA	205
R 1.11.	Dora Varjačić, Dijana Oskoruš, Karlo Leskovar IZRADA HIDROLOŠKOG MODELA RIJEKE BEDNJE BAZIRANOG NA POVRATNOJ NEURONSKOJ MREŽI	213
R 1.12.	Tea Kos, Dijana Oskoruš, Karlo Leskovar IZRAČUN PRONOSA NANOSA U RIJECI DRAVI	225
R 1.13.	Dijana Oskoruš, Sanja Kapelj, Anita Ptiček Siročić, Saša Zavrtnik, Danko Biondić MODERNIZACIJA MONITORINGA PRONOSA SUSPENDIRANOG NANOSA NA PRIMJERU HIDROLOŠKE POSTAJE SAVA - SLAVONSKI BROD	235
R 1.14.	Stevan Prohaska, Vladislava Bartoš Divac, Ognjen Prohaska, Aleksandra Ilić STOHAŠTIČKE KARAKTERISTIKE OSNOVNIH PARAMETARA REŽIMA VODA REKE SAVE U PROFILU HS ŽUPANJA	245
R 1.15.	Karlo Leskovar, Jelena Loborec, Dijana Oskoruš, Ranko Biondić ANALIZA TRENDOVA OBORINA I PROMJENA BILJNOG POKROVA NA SLIVU RIJEKE KUPE	253
R 1.16.	Karlo Leskovar, Dijana Oskoruš, Lucija Plantak, Hrvoje Meaški PRIMJENA POVRATNE NEURONSKE MREŽE U PREDVIĐANJU OTJECANJA UZROKOVANOG OTAPANJEM SNIJEGA NA SLIVU RIJEKE KUPE	267
R 1.17.	Igor Ružić, Maja Radišić, Duje Kalajžić, Andrijana Brozinčević, Nikola Markić, Kazimir Miculinić, Andrea Tadić, Josip Rubinić ISTRAŽIVANJA LOMA SEDRENE BARIJERE NA MILINOM JEZERU U NP PLITVIČKA JEZERA	279
R 1.18.	Goran Volf, Petar Žutunić, Marija Gligora Udovič, Antonija Kulaš, Perica Mustafić MODELIRANJE FITOPLANKTONA AKUMULACIJE BUTONIGA	289

R 1.19.	Martina Horvat, Andrej Sovinc, Alena Sprčić, Maja Radišić, Milan Mihovilović, Josip Rubinić POVIJEST, DEGRADACIJA I EKOLOŠKA OBNOVA PRIOBALNE MOČVARE SALINE NA BRIJUNIMA	297
R 1.20.	Josip Rubinić, Maja Radišić, Milan Mihovilović, Maja Oštrić, Ivan Tot, Igor Ružić, Bojana Horvat NOVE SPOZNAJE O HIDROLOŠKOM SUSTAVU VRANSKOG JEZERA NA OTOKU CRESU	309
R 1.21.	Nevenka Ožanić, Ivana Sušanj Čule SUSTAV VRANSKOG JEZERA NA OTOKU CRESU U KONTEKSTU VODOOPSKRBE	323
R 1.22.	Renata Vidaković Šutić, Tanja Lubura Matković, Vedrana Ričković ISKUSTVA U MODELIRANJU OTJECANJA U KRŠU - SLIV RIJEKE LIKE	331
R 1.23.	Gorana Goreta, Maja Radišić, Najla Baković, Josip Rubinić VODNI RESURSI RIJEKE KRKE UNUTAR NP KRKA	339
R 1.24.	Stjepan Husnjak, Mario Sraka, Danijela Jungić, Ivan Bertović, Ivan Magdić, Nikolina Jurković Balog DINAMIKA RAZINE PODZEMNE VODE U HIDROMORFNIM TLIMA SLIVA RIJEKE DRAVE	351
R 1.25.	Ivan Martinić, Ivan Čanjevac HIDROLOŠKA I HIDROKEMIJSKA ISTRAŽIVANJA IZVORA NA MEDVEDNICI - PRIMJER PONIKAVA	363
R 1.26.	Srđan Pichler, Stanislav Frančišković - Bilinski, Dalibor Paar PRIMJENA METODE MAGNETNE SUSCEPTIBILNOSTI U ISTRAŽIVANJIMA PONORNIH ZONA U KRŠU	373
R 1.27.	Jasmina Lukač Reberski, Ana Selak, Josip Terzić, Ivana Boljat, Marina Filipović „NOVA” ONEČIŠĆIVALA U KRŠKIM IZVORSKIM VODAMA HRVATSKE	383
R 1.28.	Vanda Piškur, Majda Meden, Silvio Giorgolo, Sanja Živković, Arijana Cenov, Darija Vukić Lušić IZVOR VELA FONTANA NA KRKU - POVEZANOST KVALITETE VODE I KLIMATOLOŠKIH UVJETA	393
R 1.29.	Staša Borović, Josip Terzić, Matko Patekar, Marco Pola, Tihomir Frangen, Jasmina Lukač Reberski, Ivan Kosović, Maja Briški, Mihaela Bašić HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA NA OTOKU VISU TLJEKOM VREMENA - REZULTATI I PREPORUKE	403
R 1.30.	Marko Reljić, Monika Zovko, Marina Bubalo Kovačić, Davor Romić USPOSTAVA I VALIDACIJA IN - SITU KONTINUIRANOG MONITORINGA STUPNJA ZASLANJENOSTI POVRŠINSKIH I PODZEMNIH VODA U DELTI RIJEKE NERETVE	417

R 1.31.	Gordon Gilja, Vice Bralić, Marko Reljić, Neven Kuspilić ANALIZA UTJECAJA PLIMNIH OSCILACIJA NA INFILTRACIJU U SUSTAV ODVODNJE VIDRICE	427
R 1.32.	Veljko Srzić, Ivan Lovrinović, Iva Aljinović HIDROGEOLOŠKA KARAKTERIZACIJA VODONOSNIKA POD TLAKOM U PODRUČJU OPUZEN UŠĆE	435
R 1.33.	Alojzije Getlicher GEOTERMALNE VODE REPUBLIKE HRVATSKE - NEISKORIŠTENO BOGATSTVO	447
R 1.34.	Daria Čupić, Hrvoje Herceg ZAŠTITA GEOTERMALNIH I MINERALNIH VODA USPOSTAVOM MONITORINGA	457
R 1.35.	Boris Vrbanac, Matija Ratkaj STRATEGIJE RAZVOJA GEOTERMALNIH PROJEKATA ISLANDA I HRVATSKE	469
R 1.36.	Hrvoje Herceg IZVORI GEOTERMALNE I MINERALNE VODE NA PODRUČJU ZAGORSKOG GEOTERMALNOG VODNOG TIJELA	475
R 1.37.	Toni Holjević, Siniša Družeta, Vanja Travaš ANALIZA PRIJENOSA MIKROPLASTIKE U AKVATIČNIM SREDINAMA	485
R 1.38.	Slaven Jozić, Ana Vrdoljak Tomaš, Darija Vukić Lušić, Arijana Cenov, Marin Glad, Danijela Peroš - Pucar, Katarina Kurić, Marin Ordulj, Tatjana Puljak, Dolores Grilec, Mladen Šolić, Damir Ivanković UTJECAJ PROSTORNO - VREMENSKIH VARIJACIJA POKAZATELJA NA REPREZENTATIVNOST OCJENE KAKVOĆE MORA ZA KUPANJE	493
R 1.39.	Marin Ordulj, Slaven Jozić, Tatjana Puljak, Mirna Mamić, Ana Vrdoljak Tomaš, Nikolina Baumgartner, Damir Ivanković TREND KAKVOĆE MORA ZA KUPANJE U KAŠTELIMA ZA RAZDOBLJE 2009. - 2022.	501
R 1.40.	Jelena Dautović, Niki Simonović, Iva Dominović, Zdeslav Zovko, Irena Ciglenečki OTOPLJENI ORGANSKI UGLJIK (DOC) U OBALNIM I PRIJELAZNIM VODAMA ISTOČNOG JADRANA	513

TEMA 2. SUSTAVI UREĐENJA I KORIŠTENJA VODA I ZEMLJIŠTA - STANJE I RAZVOJNI PROJEKTI

R 2.01.	Luka Vukmanić, Tatjana Vujnović OPERATIVNI SUSTAVI ZA PROGNOZIRANJE POPLAVA U REPUBLICI HRVATSKOJ	525
---------	---	-----

R 2.02.	Želimir Marojević, Diana Šustić MOGUĆNOSTI ŠIRE IMPLEMENTACIJE MJERA ZELENE INFRASTRUKTURE U SMANJENJU RIZIKA OD POPLAVA	535
R 2.03.	Sanja Filipan, Tomislav Suton STANJE I RAZVOJNI PROJEKTI ZAŠTITE OD ŠTETNOG DJELOVANJA VODA U VGO ZA GORNJU SAVU	547
R 2.04	Ines Ožanić, Tihana Cigetić, Tomislav Suton, Goran Milaković, Tomislav Gazić SANACIJA ŠTETA OD POTRESA NA VODNIM GRAĐEVINAMA NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA, ZAGREBAČKE ŽUPANIJE I KRAPINSKO - ZAGORSKE ŽUPANIJE NASTALIH NAKON ZAGREBAČKOG POTRESA	537
R 2.05.	Goran Milaković, Davorin Piha, Snježana Delaš, Tatjana Dovranić Kardaš, Mišo Čičak OSIGURANJE PREVENTIVNE INFRASTRUKTURE OŠTEĆENE POTRESOM OD 28. I 29. PROSINCA 2020. GODINE NA PODRUČJU SISAČKO - MOSLAVAČKE, KARLOVAČKE I ZAGREBAČKE ŽUPANIJE	567
R 2.06.	Goran Milaković, Davorin Piha, Snježana Delaš, Tatjana Dovranić Kardaš, Mišo Čičak SANACIJA URUŠNIH VRTAČA U NASELJIMA MEČENČANI I BOROJEVIĆI	585
R 2.07.	Nino Krvavica, Vlatko Roland, Ante Šiljeg, Bojana Horvat, Josip Rubinić, Igor Ružić, Damir Bekić ANALIZA RIZIKA OD POPLAVA URBANIH PODRUČJA USLIJED JAKIH OBORINA (PROJEKT STREAM)	597
R 2.08.	Nino Krvavica, Goran Lončar, Damir Bekić, Jadranka Šepić, Mateo Gašparović, Darko Barbalić PROCJENA RIZIKA OD POPLAVA MORA	607
R 2.09.	Andrea Tadić, Gorana Ljubičić, Vedrana Petrović, Dado Jakupović, Nino Krvavica, Igor Ružić ANALIZA UGROŽENOSTI RANJIVIH NASELJA PRIMORSKO - GORANSKE ŽUPANIJE OD OBALNOG PLAVLJENJA MOREM	617
R 2.10.	Igor Ružić, Andrea Tadić, Vedrana Petrović, Gorana Ljubičić, Dado Jakupović, Čedomir Benac, Nino Krvavica ANALIZA OBALNE RANJIVOSTI PRIMORSKO - GORANSKE ŽUPANIJE	627
R 2.11.	Ivan Žigo, Dinko Hrešić UPIJAJUĆI LUKOBRAN LUKE SAN PELAGIO U ROVINJU	637
R 2.12.	Nenad Heček VIŠENAMJENSKI OBJEKTI ZA POBOLJŠANJE VODNOG REŽIMA RIJEKE DOBRE USLIJED RADA HE LEŠĆE	647

R 2.13.	Andraž Hribar SPECIFIČNO STANIŠTE KAO MJERA ZA SMANJENJE UTJECAJA HIDROELEKTRANA NA OKOLIŠ	657
R 2.14.	Stevan Prohaska ZA I PROTIV IZGRADNJE MALIH HIDROELEKTRANA (MHE) U SRBIJI	669
R 2.15.	Omer Kovčić, Mufid Tokić, Anadel Galamić PROBLEMATIKA ZASIPANJA AKUMULACIJE MODRAC	675
R 2.16.	Danko Holjević, Marinko Galiot, Mario Bagarić ANALIZA DINAMIKE PROJEKTIRANJA I GRAĐENJA NOVIH SUSTAVA NAVODNJAVANJA IZ SREDSTAVA EUROPSKOG POLJOPRIVREDNOG FONDA ZA RURALNI RAZVOJ	685
R 2.17.	Marko Josipović, Ivica Beraković, Hrvoje Plavšić, Jasna Šoštarić, Antonija Kojić, Monika Marković KORIŠTENJE VODE I TLA U ODRŽIVOJ POLJOPRIVREDI - REZULTATI VIŠEGODIŠNJIH POKUSA	695
R 2.18.	Josip Marušić, Marko Josipović, Dragutin Petošić STANJE HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA ZA ODVODNJU I ANALIZA PRINOSA PŠENICE I KUKURUZA	705
R 2.19.	Dunja Vlatković DOSTUPNOST I KVALITETA VODE ZA NAVODNJAVANJE U KRŠKIM PODRUČJIMA	719
R 2.20.	Monika Zovko, Katrin Bilić, Marijan Bubola, Marko Reljić, Davor Romić OCJENA UČINKOVITOSTI NAVODNJAVANJA VIHOGRADA U AGROKOLOŠKIM UVJETIMA ZAPADNE ISTRE	729
R 2.21.	Mario Obuljen PROVEDBA I AKTUALNI IZAZOVI NACIONALNOG PROJEKTA NAVODNJAVANJA I GOSPODARENJA POLJOPRIVREDNIM ZEMLJIŠTEM I VODAMA NA PODRUČJU VGO-a ZA SLIVOVE JUŽNOG JADRANA	739
R 2.22.	Enes Obarčanin, Ana Jelka Graf ANALIZA MOGUĆNOSTI NAVODNJAVANJA ZADARSKOG ZALEĐA KORIŠTENJEM VODE IZ HIDROTEHNIČKIH SUSTAVA NA SLIVU RIJEKE ZRMANJE I LIČKOM PLATOU	755

**TEMA 3. SUSTAVI JAVNE VODOOPSKRBE, ODVODNJE I PROČIŠĆAVANJA
OTPADNIH VODA - STANJE I RAZVOJNI PROJEKTI**

R 3.01.	Jure Margeta UPRAVLJANJE OBNOVLJIVIM RESURSIMA URBANOG VODNOG SUSTAVA	769
---------	---	-----

R 3.02.	Tatjana Mijušković - Svetinović, Josipa Matotek, Vinko Blažević ANALIZA KVAROVA NA VODOOPSKRBNOM SUSTAVU VALPOVO - BELIŠĆE	779
R 3.03.	Berislav Bohatka, Silvio Giorgolo, Tamara Vrkić Šivolija - Jelica, Ivica Plišić POBOLJŠANJE VODNOKOMUNALNE INFRASTRUKTURE JIVU PONIKVE VODA d.o.o. - PODSUSTAV PONIKVE	789
R 3.04.	Alena Vlašić, Siniša Širac ALTERNATIVNI IZVORI VODE KAO MJERA OTPORNOSTI NA KLIMATSKE PROMJENE	801
R 3.05.	Jasmina Antolić, Alenka Drenški, Ivica Popović, Josip Rubeša IZVJEŠĆIVANJE O PROVEDBI DIREKTIVE O PROČIŠĆAVANJU KOMUNALNIH OTPADNIH VODA U REPUBLICI HRVATSKOJ	813
R 3.06.	Zrinka Vranar OTPADNE VODE SUSTAVA JAVNE ODVODNJE PRIJAVLJENE U REGISTAR ONEČIŠĆAVANJA OKOLIŠA	823
R 3.07.	Mariela Sjekavica Klepo, Domagoj Knežević, Ivana Bašić, Hrvoje Meštrović SUSTAV UPRAVLJANJA RIZICIMA NA EU SUFINANCIRANIM PROJEKTIMA VODNO - KOMUNALNOG GOSPODARSTVA	831
R 3.08.	Dejan Kovačević, Gorana Čosić - Flajsig, Dario Pavlović, Ivan Šimunc USPOREDBA SUSTAVA OBORINSKE ODVODNJE - KONVENCIONALNI I ZELENA INFRASTRUKTURA	843
R 3.09.	Željko Šreng, Marija Šperac, Tamara Brleković, Ivana Sušanj Čule, Marta Šćuka ANALIZA INFILTRACIJSKOG POTENCIJALA I REDUKCIJE NEPROPUSNIH POVRŠINA NA PODRUČJU STUDENTSKOG KAMPUSA U OSIJEKU	851
R 3.10.	Željko Šreng, Marija Šperac, Jadran Berbić, Marin Grubišić, Luka Šimić PRIMJENA SUVREMENIH RJEŠENJA OBORINSKE ODVODNJE NA POSTOJEĆEM MJEŠOVITOM SUSTAVU	861
R 3.11.	Marija Šperac, Barbara Karleuša, Marta Marija Bilić PRIMJENA AHP METODE NA ODABIR UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA	871
R 3.12.	Dario Pavlović, Gorana Čosić - Flajsig, Dejan Kovačević, Valerija Brlek UČINKOVITOST RADA UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U EKSTREMNIM HIDROLOŠKIM UVJETIMA	881
R 3.13.	Domagoj Nakić, Stela Babić, Dražen Vouk, Ivan Halkijević UGLJIČNI OTISAK UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA PRIMJENOM METODOLOGIJE EIB-a	891
R 3.14.	Hana Posavčić, Dražen Vouk, Ivan Halkijević, Morana Drušković UTJECAJ GUSTOĆE STRUJE I PROTOKA NA UČINKOVITOST UKLANJANJA MINERALNIH ULJA	901

R 3.15.	Davor Stanković, Danijela Jelić, Emir Mešić KOMUNALNI BILJNI UREĐAJI ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA PREMA DWA-A 262	909
---------	---	-----

**TEMA 4. VODNA POLITIKA, OBRAZOVANJE, VODNOGOSPODARSKO
PLANIRANJE, MEĐUNARODNA SURADNJA I SUDJELOVANJE
JAVNOSTI**

R 4.01.	Valerija Musić, Marija Šikoronja, Đorđa Medić, Daria Čupić MONITORING KAO PODLOGA ZA IZRADU PLANA UPRAVLJANJA VODNIM PODRUČJIMA	921
R 4.02.	Darko Barbalić, Đorđa Medić, Marina Barbalić, Sanja Barbalić ANALIZA PRITISAKA I UTJECAJA U TREĆEM PLANSKOM CIKLUSU UPRAVLJANJA VODNIM PODRUČJIMA	931
R 4.03.	Valerija Musić, Tina Miholić, Marija Šikoronja DOBRO EKOLOŠKO STANJE ILI DOBAR EKOLOŠKI POTENCIJAL KAO JEDAN OD OKOLIŠNIH CILJEVA	941
R 4.04.	Marija Šikoronja, Valerija Musić, Tina Miholić, Igor Stanković RAZVOJ KLASIFIKACIJSKIH SUSTAVA ZA BIOLOŠKE ELEMENTE KAKVOĆE I PROVEDBA INTER - KALIBRACIJSKIH POSTUPAKA	955
R 4.05.	Tina Miholić, Marija Šikoronja, Valerija Musić RAZVOJ TIPOLOŠKOG SUSTAVA POVRŠINSKIH VODA KROZ TRI PLANSKA CIKLUSA	963
R 4.06.	Vedrana Ričković, Boris Vrclj, Monika Babačić, Tonči Blažević ODREĐIVANJE ZNATNO PROMIJENJENIH I UMJETNIH VODNIH TIJELA ČIJE JE HIDROMORFOLOŠKO STANJE POSljedica HIDROENERGETSKOG KORIŠTENJA VODA NA HEP - OVIM OBJEKTIMA	973
R 4.07.	Marina Bubalo Kovačić, Tena Smud, Marija Romić, Monika Zovko, MarkO Reljić, Davor Romić UTJECAJ ULAZNIH PARAMETARA NA DEFINIRANJE PRITISAKA IZ POLJOPRIVREDE NA KAKVOĆU POVRŠINSKIH VODA U ZAGREBAČKOJ ŽUPANIJI	985
R 4.08.	Mirjana Štimac Varat EKOLOŠKO STANJE OTVORENIH VODA KORIŠTENIH ZA SLATKOVODNU AKVAKULTURU - STANJE ULAZNIH I IZLAZNIH VODOTOKA	993
R 4.09.	Daria Čupić, Hrvoje Herceg STANJE I RIZICI PODZEMNIH VODA U HRVATSKOJ	1007
R 4.10.	Alma Tudić KEMIJSKO STANJE PODZEMNIH VODA NA MONITORING POSTAJAMA JADRANSKOG VODNOG PODRUČJA	1021

R 4.11.	Maja Oštrić, Nataša Mihelčić ANALIZA KAKVOĆE VODE PULSKIH BUNARA I STANJE TIJELA PODZEMNE VODE JUŽNA ISTR	1029
R 4.12.	Daria Čupić, Alena Vlašić, Siniša Širac NOVE ONEČIŠĆUJUĆE TVARI U PODZEMNIM VODAMA	1039
R 4.13.	Damir Tomas SUSTAV IZVJEŠTAVANJA O KVALITETI VODE U REPUBLICI HRVATSKOJ EUROPSKOJ KOMISIJI	1053
R 4.14.	Ivan Vučković, Ana Sudar, Damir Mrđen, Ivan Matković, Mladen Plantak, Koni Čargonja - Reicher, Ivan Antunović, Tihana Gašević, Dalibor Lasić PRIKAZ PROGRAMA MJERA U PLANU UPRAVLJANJA VODAMA NA VODNOM PODRUČJU JADRANSKOG MORA U FEDERACIJI BIH ZA RAZDOBLJE 2022. - 2027.	1063
R 4.15.	Gorana Ćosić - Flajsig, Barbara Karleuša, Matjaž Glavan CJELOVITO UPRAVLJANJE KAKVOĆOM VODA RURALNOGA RIJEČNOG SLIVA	1077
R 4.16.	Nihada Omerdić UTJECAJ VODE NA ORGANIZAM I ZDRAVLJE ČOVJEKA	1087
	KAZALO AUTORA	1097

UVOD

Osma hrvatska konferencija o vodama održana je od 23. do 25. studenog 2023. godine u Poreču pod motom **HRVATSKE VODE U PROIZVODNJI HRANE I ENERGIJE**. Na konferenciji se kroz četiri tradicionalne znanstveno - stručne teme:

- 1. Stanje voda i o vodi ovisnih ekosustava, hidrološki ekstremi i njihove posljedice, trendovi - oborine, kopnene površinske vode, podzemne vode, prijelazne vode i priobalno more,**
- 2. Sustavi uređenja i korištenja voda i zemljišta - stanje i razvojni projekti,**
- 3. Sustavi javne vodoopskrbe, odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda - stanje i razvojni projekti,**
- 4. Vodna politika, obrazovanje, vodnogospodarsko planiranje, međunarodna suradnja i sudjelovanje javnosti,**

sveobuhvatno i interdisciplinarno raspravljalo o stanju voda i upravljanju vodama u Hrvatskoj, a rasprave su rezultirale korisnim smjernicama za budućnost.

Složena geopolitička situacija u svijetu u posljednje vrijeme uzrok je brojnim poremećajima na tržištima hrane i energije, pa je zato za Hrvatsku kao i za sve druge države od iznimne važnosti imati učinkovitu vlastitu proizvodnju tih dobara, ali i kvalitetno upravljanje vodama kao nužan preduvjet.

Prošle 2022. godine nas je zadesilo dugotrajno sušno razdoblje. Vodoopskrbni izvori u čitavoj državi bili su smanjene izdašnosti, mnogi manji vodotoci su presušili, a na nekim velikim rijekama zabilježeni su povijesni minimumi. Na nekim područjima bile su blaže redukcije potrošnje vode, ali bez prestanka vodoopskrbe stanovništva i turista usred turističke sezone, čime su potvrđeni rezultati višedesetljetnih intenzivnih ulaganja u razvoj vodoopskrbe, naročito u iznalaženje novih izvorišta vode za piće i alternativnih mogućnosti vodoopskrbe nekih područja koja su ranjiva od suše. Ponovno se pokazalo da nas statistički podaci po kojima je Hrvatska po stanovniku bogata vodom ne smiju zavaravati, jer primjerice stanovnicima i turistima na nekim jadranskim otocima apsolutno ništa ne znači što panonskim dijelovima Hrvatske teku velike rijeke i što su u podzemljima nekih gradova kao primjerice Zagreba i Varaždina veliki aluvijalni vodonosnici koji obiluju podzemnom vodom. Prošlogodišnja iskustva ukazuju da treba nastaviti s intenzivnim ulaganjima u javnu vodoopskrbu naročito u Istri, ali i na drugim područjima koja pogađa suša. Također treba intenzivirati realizaciju projekata smanjenja gubitaka vode iz vodoopkrbnih mreža čime će se postići značajne uštede pitke vode.

Ove 2023. godine su nas zadesile intenzivne kiše i posljedično velike vode i poplave. Na mnogim područjima širom Hrvatske i u susjednim zemljama zabilježeni su povijesni meteorološki i hidrološki maksimumi. Službe koje sudjeluju u operativnoj obrani od poplava dobro su reagirale. Usprkos teškim situacijama širom države, nigdje nije bilo ljudskih žrtava, a poplavne štete bile su minimalne. Sustavno unapjeđivanje postojećih sustava obrane od poplava sukladno novozabilježenim hidrološkim maksimumima i njihova dogradnja tamo gdje ih nema i nadalje mora biti prioritarna zadaća vodnoga gospodarstva. Sve intenzivniji meteorološki i hidrološki ekstremi koji se ciklički izmjenjuju nalažu sustavno unapjeđivanje upravljanja vodnim režimima uz poštivanje najviših standarda

zaštite okoliša i prirode propisanih vlastitim zakonodavstvom u koje su transponirani zahtjevi europske pravne stečevine.

U 2020. godini su nas zadesili katastrofalni potresi u Zagrebu i na Banovini. Vodne građevine su na mnogim mjestima bile teško oštećene. Njihova sanacija je trajala sve do ove godine, pri čemu su naši inženjeri stekli brojna nova iskustva.

Vlada Republike Hrvatske je 28. lipnja 2023. godine donijela Odluku o donošenju Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. (Narodne novine, broj 84/23), temeljnog planskog dokumenta upravljanja vodama tijekom sljedećih nekoliko godina. Dokument se sastoji od dvije komponente upravljanja vodnim područjima: upravljanje stanjem voda i upravljanje rizicima od poplava. Upravljanje stanjem voda sadrži novelirani pregled stanja voda, pregled sustava praćenja stanja voda, te program mjera za upravljanje stanjem voda na vodnim područjima u planskom razdoblju 2022. - 2027. godine, koje su usmjerene na dostizanje ciljeva zaštite voda. Upravljanje rizicima od poplava sadrži zaključke Prethodne procjene rizika od poplava, prikaz karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava, ciljeve za upravljanje rizicima od poplava te program mjera za ostvarenje tih ciljeva, uključujući preventivne mjere, zaštitu, pripravnost, prognoziranje poplava i sustave za obavještanje i upozoravanje, sa ciljem smanjenja mogućih štetnih posljedica poplava na ljudsko zdravlje i sigurnost, na vrijedna dobra i imovinu, te na vodni i kopneni okoliš.

Posljednjih desetak godina, a naročito u posljednje vrijeme, razvojni projekti su intenzivirani, kako bi se što prije dosegli ciljevi upravljanja vodama i kako bi se u što većoj mjeri iskoristila bespovratna financijska sredstva raspoloživa u europskim fondovima. Ukupne vrijednosti godišnjih realizacija Planova upravljanja vodama Hrvatskih voda su se u razdoblju od 2013. do 2019. godine kretale u rasponu od oko 310 do oko 446 milijuna eura, da bi nakon toga uslijedio značajan uzlazni trend. Godine 2020. realizacija je iznosila oko 487 milijuna eura, godine 2021. oko 688 milijuna eura, godine 2022. oko 752 milijuna eura, da bi Planom upravljanja vodama za 2023. godina bila predviđena ukupna realizacija od oko 959 milijuna eura. Razlog tom trendu je intenzivno korištenje raspoloživih sredstava iz različitih EU fondova.

Navedeni izazovi su okviri u kojima danas djeluje hrvatsko vodno gospodarstvo i o svemu tome bilo je riječi na konferenciji. U okviru konferencije bili su organizirani i okrugli stolovi o prilagodabama klimatskim promjenama i o geotermalnim vodama.

Osim znanstvenika i stručnjaka iz Hrvatske, na osmoj hrvatskoj konferenciji o vodama sudjelovali su i inozemni znanstvenici i stručnjaci, koji su iznosili iskustva iz svojih zemalja u upravljanju vodama. Radovi objavljeni u Zborniku radova pisani su na službenim jezicima konferencije, hrvatskom i engleskom jeziku. Nekoliko radova pisanih na bosanskom i srpskom jeziku objavljeno je u izvornicima i nisu prevedeni na hrvatski jezik.

Organizatori konferencije

Hrvatska komora inženjera građevinarstva, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Hrvatsko društvo za odvodnju i navodnjavanje, Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Hrvatsko geografsko društvo, Hrvatsko geološko društvo, Hrvatsko geomorfološko društvo, Hrvatsko geotehničko društvo, Hrvatsko hidrološko društvo, Hrvatsko ihtiološko društvo, Hrvatsko tloznanstveno društvo, Hrvatska udruga za sanitarno inženjerstvo, Udruga za očuvanje hrvatskih voda i mora - Slap

Glavni tradicionalni suorganizator konferencije

Hrvatske vode

Generalni sponzor konferencije

Hrvatska komora inženjera građevinarstva

Visoki pokrovitelji konferencije

- Predsjednik Republike Hrvatske gospodin Zoran Milanović
- Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja

Pokrovitelji konferencije

International Association of Hydrological Sciences - IAHS

Hrvatsko povjerenstvo za UNESCO

Počasni odbor konferencije

- Davor Filipović, ministar gospodarstva i održivog razvoja
- Elizabeta Kos, ravnateljica Uprave vodnoga gospodarstva i zaštite mora
- Zoran Đuroković, generalni direktor Hrvatskih voda
- Davor Vukmirić, zamjenik generalnog direktora Hrvatskih voda
- Valentin Dujmović, zamjenik generalnog direktora Hrvatskih voda
- Mario Šiljeg, ravnatelj Instituta za vode Josip Juraj Strossmayer

Znanstveno - stručni odbor konferencije

Danko Biondić - predsjednik, Monika Babačić, Primož Banovec, Darko Barbalić, Ranko Biondić, Neven Bočić, Mitja Brilly, Tamara Brleković, Irena Ciglenečki - Jušić, Ksenija Cindrić Kalin, Ivan Čanjevac, Marko Čaleta, Gorana Ćosić - Flajsig, Jovan Despotović, Miroslav Golub, Emina Hadžić Dreznjak, Danko Holjević, Marko Josipović, Slaven Jozić, Vedran Jurić, Damir Kapetanović, Barbara Karleuša, Lado Kranjčević, Tarik Kupusović, Neven Kuspilić, Željko Linšak, Dražen Lušić, Daniel Maestro, Zdenko Mahmutović, Jure Margeta, Tamara Marković, Josip Marušić, Zlatko Mihaljević, Zoran Nakić, Živana Ninčević Gladan, Dijana Oskoruš, Maja Oštrić, Nevenka Ožanić, Mara Pavelić, Željko Pavlin, Stevan Prohaska, Davor Romić, Marija Romić, Josip Rubinić, Siniša Širac, Marija Šperac, Lidija Tadić, Josip Terzić, Dušan Trninić, Tatjana Vlahović, Darija Vukić Lušić, Sonja Zlatović

Organizacijski odbor konferencije

Danko Holjević - predsjednik, Danko Biondić, Nina Dražin Lovrec, Gordan Gašparović, Stjepan Kamber, Elizabeta Kos, Milan Laković, Mladen Nežić, Loris Peršurić, Ivica Plišić, Ezio Pinzan.

Zbornik radova sadrži 98 radova izloženih na 8. hrvatskoj konferenciji o vodama u oblicima usmenog izlaganja ili postera. Objavljene radove pripremlilo je ukupno 245 autora i koautora iz Hrvatske i inozemstva, od čega 229 autora i koautora iz Hrvatske (93 %) i 16 autora i koautora iz inozemstva (7 %). Inozemni autori i koautori dolaze iz sljedeće 4 države (abecednim redom): Bosna i Hercegovina (8), Portugal (1), Slovenija (3) i Srbija

(4). Sve radove osim referata po pozivu recenzirali su članovi Znanstveno - stručnog odbora konferencije. Radovi su podijeljeni u referate po pozivu, te u četiri znanstveno - stručne teme

Referati po pozivu

5 radova, urednik: Danko Biondić

Tema 1.: Stanje voda i o vodi ovisnih ekosustava, hidrološki ekstremi i njihove posljedice, trendovi - padaline, kopnene površinske vode, podzemne vode, prijelazne vode i priobalno more

40 radova, recenzenti: Darko Barbalić, Danko Biondić, Ranko Biondić, Mitja Brilly, Tamara Brleković, Irena Ciglencčki - Jušić, Ksenija Cindrić Kalin, Marko Čaleta, Miroslav Golub, Marko Josipović, Slaven Jozić, Damir Kapetanović, Željko Linšak, Jure Margeta, Tamara Marković, Zoran Nakić, Nevenka Ožanić, Dijana Oskoruš, Maja Oštrić, Željko Pavlin, Stevan Prohaska, Josip Rubinić, Lidija Tadić, Dušan Trninić, Tatjana Vlahović, Sonja Zlatović.

Tema 2.: Sustavi uređenja i korištenja voda i zemljišta - stanje i razvojni projekti

22 rada, recenzenti: Monika Babačić, Danko Biondić, Ivan Čanjevac, Danko Holjević, Barbara Karleuša, Tarik Kupusović, Neven Kuspilić, Stevan Prohaska, Davor Romić, Marija Romić, Josip Rubinić, Lidija Tadić.

Tema 3.: Sustavi javne vodoopskrbe, odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda - stanje i razvojni projekti

15 radova, recenzenti: Danko Biondić, Gorana Čosić - Flajsig, Jovan Despotović, Barbara Karleuša, Jure Margeta, Dijana Oskoruš, Josip Rubinić, Siniša Širac, Marija Šperac.

Tema 4.: Vodna politika, obrazovanje, vodnogospodarsko planiranje, međunarodna suradnja i sudjelovanje javnosti

16 radova, recenzenti: Darko Barbalić, Danko Biondić, Ranko Biondić, Marko Čaleta, Emina Hadžić Dreznjak, Danko Holjević, Zlatko Mihaljević, Tatjana Vlahović, Darija Vukić - Lušić.

Organizatori 8. hrvatske konferencije o vodama zahvaljuju visokim pokroviteljima, pokroviteljima, članovima Počasnog odbora, glavnom tradicionalnom suorganizatoru, članovima Znanstveno - stručnog odbora, članovima Organizacijskog odbora, sponzorima, donatorima i svim ostalim sudionicima na njihovom doprinosu uspjehu konferencije.

Predsjednik Znanstveno - stručnog odbora 8. hrvatske konferencije o vodama

doc.dr.sc. Danko Biondić



8. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE U PROIZVODNJI HRANE I ENERGIJE

POREČ 23. - 25. STUDENI 2023.

REFERATI PO POZIVU

Urednik:

Danko Biondić



P.01.

NAJZNAČAJNIJE AKTIVNOSTI UPRAVE VODNOGA GOSPODARSTVA I ZAŠTITE MORA U RAZDOBLJU OD 7. DO 8. HRVATSKE KONFERENCIJE O VODAMA

Elizabeta Kos, Miro Macan, Marija Čulinović Holjevac

SAŽETAK: U ovom radu dan je pregled najznačajnijih aktivnosti Uprave vodnoga gospodarstva i zaštite mora, kao ustrojstvene jedinice Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja, nadležne za upravne i stručne poslove upravljanja vodama. Pregled aktivnosti obuhvaća razdoblje od 7. do 8. hrvatske konferencije o vodama koje je bilo intenzivno i zahtjevno obzirom da obuhvaća vrijeme svjetske pandemije COVID-19 te vrijeme u kojem su nas pogodili veliki potresi, prvo onaj „zagrebački“ koji se dogodio 22. ožujka 2020., pa potom „petrinjski“, koji je uslijedio 28. i 29. prosinca 2020.

KLJUČNE RIJEČI: Vodno gospodarstvo, Propisi, Planski dokumenti, Međunarodna suradnja, Navodnjavanje, FSEU, OPKK 2014. - 2022., PKK 2021. - 2027., NPOO

THE MOST SIGNIFICANT ACTIVITIES OF THE WATER MANAGEMENT AND SEA PROTECTION DIRECTORATE IN THE PERIOD BETWEEN THE 7TH AND 8TH CROATIAN WATER CONFERENCES

ABSTRACT: This work provides an overview of the most significant activities of the Water Management and Sea Protection Directorate, a structural unit of the Ministry of Economy and Sustainable Development that is responsible for administrative and professional tasks related to water management. The overview of activities covers the period between the 7th and 8th Croatian Water Conferences, which was intense and challenging since it was the time of the global COVID-19 pandemic and the time when significant earthquakes occurred in Croatia, of which the first one, the “Zagreb earthquake”, happened on March 22, 2020, and was followed by the “Petrinja earthquake” on December 28 and 29, 2020.

KEYWORDS: Water management, Regulations, Planning documents, International cooperation, Irrigation, EUSF, OPCC 2014 - 2022, PCC 2021 - 2027, NRRP

1. UVOD

U Upravi vodnoga gospodarstva i zaštite mora koja, obavlja upravne i stručne poslove koji se odnose na neposrednu primjenu zakona, drugih propisa i planskih dokumenata iz područja upravljanja vodama, morem i priobaljem, u razdoblju od 7. do 8. hrvatske konferencije o vodama uz brojne aktivnosti na realizaciji projekata vodnoga gospodarstva, koje su vidljive u svakom dijelu Hrvatske, u proteklom razdoblju intenzivno se radilo i na drugim ključnim aktivnostima, od kojih posebno treba istaknuti aktivnosti na legislativnom planu odnosno aktivnosti na pripremi prijedloga propisa iz područja vodnoga gospodarstva, koje je usvojio Hrvatski sabor odnosno Vlada Republike Hrvatske. Isto tako, valja istaknuti da je kroz sudjelovanje u pripremi strateških i planskih dokumenata drugih institucija osigurana provedba projekata vodnog gospodarstva, poput projekata navodnjavanja. Ne treba zaboraviti ni nemile događaje koji su nas pogodili u 2020. godini poput dva potresa prvog „zagrebačkog“ koji nas je pogodio u jutarnjim satima 22. ožujka 2020., i to baš na Svjetski dan voda, kao i onog „petrinjskog“ koji nas je zatresao 28. i 29. prosinca 2020. godine, a čije su posljedice na javnoj infrastrukturi najvećim dijelom sanirane sredstvima Fonda solidarnosti Europske unije.

Isto tako intenzivno se u sektoru vodnih projekata radi na završetku Operativnog razdoblja 2014. - 2020. te pripremanja za novo Programsko razdoblje PKK 2021. - 2027. kao i na realizaciji projekata iz Nacionalnog plana otpornosti i oporavka (NPOO).

2. PROPISI IZ PODRUČJA VODNOGA GOSPODARSTVA

U srpnju 2021. godine donesen je Zakon o izmjenama Zakona o vodama (Narodne novine, broj 84/21) sa ciljem usklađenja zakonodavstva Republike Hrvatske s odredbama Direktive 2011/92/EU (Direktiva o procjeni utjecaja na okoliš), Direktive Vijeća 92/43/EEZ (Direktiva o staništima) i Direktive 2000/60/EZ (Okvirna direktiva o vodama). Također, Zakonom o izmjenama Zakona o vodama dodatno su uređene odredbe o osnivanju instituta za vode, osigurano je pravo svih zemljišnoknjižnih vlasnika na naknadu tržišne vrijednosti nekretnina, koje su po sili Zakona postale javno vodno dobro.

Zakonom o izmjenama i dopunama zakona o vodama (Narodne novine, broj 47/23) preuzete su određene odredbe Direktive (EU) 2020/2184 Europskog parlamenta i Vijeća od 16. prosinca 2020. o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju (preinaka), koje su u nadležnosti vodnoga gospodarstva, dok je većina odredbi preuzeta novim Zakonom o vodi za ljudsku potrošnju (Narodne novine, broj 30/23). Odredbe navedene Direktive koje su preuzete ovim izmjenama i dopunama Zakona o vodama odnose se na:

- poboljšanje pristupa vodi namijenjenoj za ljudsku potrošnju za sve, a posebno za ranjive i marginalizirane skupine,
- obvezu provedbe procjene rizika i upravljanje rizikom u području sliva vodozahvata vode namijenjene za ljudsku potrošnju i
- obvezu provedbe procjene razine gubitaka vode u sustavima javne vodoopskrbe i mjere za smanjenje gubitaka vode.

Konkretno, propisana je obveza javnih isporučitelja vodnih usluga i jedinica lokalne samouprave da poboljšaju pristup vodi namijenjenoj za ljudsku potrošnju za sve stanovnike u Republici Hrvatskoj, a posebno za ranjive i marginalizirane skupine, kao što su soci-

jalno ugrožene osobe, ruralno, otočno, brdsko - planinsko i drugo stanovništvo, zatim izbjeglice, migranti, beskućnici koji nemaju osiguran pristup vodi za ljudsku potrošnju putem vodne usluge javne vodoopskrbe.

Javni isporučitelji vodnih usluga nadležni su za osiguravanje pristupa vodi za ljudsku potrošnju priključenjem stanovništva na sustave javne vodoopskrbe te mobilnom isporukom (autocisternom i vodonoscem), dok su jedinice lokalne samouprave nadležne za osiguranje pristupa vodi postavljanjem i održavanjem javnih slavina koje su na sustavu javne vodoopskrbe te postavljanjem javnih zdenaca, javnih crpki i drugih sličnih građevina koje nisu na sustavu javne vodoopskrbe na odgovarajućem javnom prostoru, kao što su trgovci, ulice, parkovi, ako je to tehnički izvedivo, na način koji je razmjerni potrebi za takvim mjerama. Jedinice lokalne samouprave mogu izgradnju i održavanje javnih slavina povjeriti svom javnom isporučitelju vodnih usluga kao i trećim osobama uz uvjet da osiguraju financijska sredstva, međutim odgovorne su za kontrolu zdravstvene ispravnosti vode koja se iz njih koristi.

Upravo putem javnih slavina, zdenaca i crpki osigurat će se pristup svima koji nemaju pristup vodi putem sustava javne vodoopskrbe (ranjivim i marginaliziranim skupinama). Dodatno, cilj je potaknuti stanovništvo na korištenje vode iz slavina umjesto iz plastične ambalaže što bi trebalo pridonijeti smanjenju uporabe plastike, plastičnog otpada i emisija stakleničkih plinova te imati pozitivan utjecaj na ublažavanje klimatskih promjena i na okoliš u cjelini.

Nadalje, ovim izmjenama i dopunama Zakona o vodama propisana je obveza provedbe procjene rizika i upravljanje rizikom u području sliva vodozahvata vode namijenjene za ljudsku potrošnju. Naime, Direktiva zahtijeva od država članica uvođenje pristupa koji se temelji na procjeni svih rizika koji mogu ugroziti sigurnost vode koja se koristi kao voda za ljudsku potrošnju tako da se obuhvati cijeli lanac vodoopskrbe, od područja sliva, preko zahvaćanja, obrade, skladištenja i distribucije do krajnjeg korisnika. Ovim izmjenama i dopunama Zakona o vodama uređena je provedba procjene rizika na početku lanca vodoopskrbe, a to je područje sliva vodozahvata vode i predstavlja prvu sastavnicu procjene rizika u lancu vodoopskrbe. Rizike u preostalom dijelu lanca vodoopskrbe uređuje novi Zakon o vodi za ljudsku potrošnju.

Za provedbu procjene rizika i mjera koje su rezultat te procjene u slivu vodozahvata javne vodoopskrbe, Zakonom o izmjenama Zakona o vodama propisana je nadležnost Hrvatskih voda i Instituta za vode „Josip Juraj Strossmayer“. Također, uvedena je obveza provedbe procjene razine gubitaka vode u sustavima javne vodoopskrbe i mjere za smanjenje gubitaka vode, u svrhu njihovog smanjenja i dovođenja na prihvatljivu razinu. Nadalje, nakon donošenja Zakona o vodnim uslugama u srpnju 2019. godine, kao pravnog temelja koji omogućava reformu u sektoru vodnih usluga, slijede implementacijski izazovi u procesu njene provedbe. U svrhu operativne provedbe reforme bilo je nužno donijeti i četiri provedbene uredbe čije donošenje je propisano navedenim Zakonom o vodnim uslugama. Jedna od najvažnijih provedbenih uredbi je Uredba o uslužnim područjima jer se njome uspostavljaju uslužna područja koja predstavljaju teritorijalne cjeline koje su osnova za provedbu integracije u tom sektoru. Kao što je poznato, Vlada Republike Hrvatske je u prosincu 2021. donijela Uredbu o uslužnim područjima kojom je uspostavljeno 41 uslužno područje prema kriterijima iz Zakona o vodnim uslugama vodeći računa o tome da se postignu temeljni ciljevi propisani zakonom. Primarni le-

gitimni cilj je postići primjenu načela povrata troškova od vodnih usluga i priuštivost cijene vodnih usluga za sve korisnike na uspostavljenom uslužnom području. Drugi cilj reforme je postići sposobnost javnih isporučitelja vodnih usluga za održivi razvoj i redovito održavanje sustava javne vodoopskrbe i odvodnje kojima upravljaju. Nadalje, cilj je povećati sposobnost javnih isporučitelja za provedbu obveza iz Ugovora o pristupanju odnosno postići primjerenu učinkovitost u provedbi značajnih investicija u razvoj vodnokomunalne infrastrukture koji se najvećim dijelom baziraju na sredstvima iz EU financijskih mehanizama, što od cijelog sektora vodnih usluga zahtijeva posebnu spremnost i učinkovitost u provedbi i značajno unaprjeđenje kadrovskih kapaciteta. Treći cilj je postići trajnu poslovnu samoodrživost, financijsku stabilnost i učinkovitost javnih isporučitelja kako bi bili sposobni osigurati održivi razvitak i stalno povećanje kvalitete vodnih usluga.

Nakon podnošenja 29 ustavnih tužbi (25 na Zakon o vodnim uslugama i 4 na Uredbu o uslužnim područjima), Ustavni sud je ocijenio Zakon o vodnim uslugama suglasnim s Ustavom, dok je u veljači 2023. ukinuo tada važeću Uredbu o uslužnim područjima s danom 15. srpnja 2023. uz navode da nisu obrazloženi kriteriji prema kojima su uspostavljena uslužna područja te da nije obrazloženo ispunjenje primarnih legitimnih ciljeva propisanih zakonom. U ostavljenom roku do 15. srpnja 2023. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, je kao stručni nositelj izradilo novi prijedlog Uredbe s detaljnim obrazloženjem razloga uspostave svakog pojedinačnog uslužnog područja i izvjesnosti postizanja legitimnih ciljeva te provelo sve prethodne procedure, tako da je Vlada Republike Hrvatske, 28. lipnja 2023. istu i donijela sa stupanjem na snagu 15. srpnja 2023. kako je Ustavni sud i odredio. Time je uspostavljena teritorijalna osnova za integraciju i otklonjene su prepreke koje su dovele do privremene obustave procesa integracije u sektoru vodnih usluga. Važno je naglasiti da je nova Uredba u materijalnom smislu ostala nepromijenjena u odnosu na Uredbu iz 2021. osim izmjene društva preuzimatelja na uslužnom području 38. do koje je došlo zbog primjene zakonske odredbe o relevantnim godinama koje se uzimaju u obzir pri određivanju društva preuzimatelja.

Vezano za ostale tri uredbe ključne za uređenje sektora vodnih usluga, Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Uprava vodnoga gospodarstva i zaštite mora je, nakon višemjesečnih i zahtjevnih konzultacija s Europskom komisijom, izradilo i njihove prijedloge, kako bi ih Vlada Republike Hrvatske mogla donijeti u paketu s Uredbom o uslužnim područjima na svojoj sjednici 28. lipnja 2023. Radi se o Uredbi o posebnim uvjetima za obavljanje djelatnosti vodnih usluga koja uređuje uvjete za licenciranje objedinjenih javnih isporučitelja vodnih usluga, o Uredbi o metodologiji za određivanje cijene vodnih usluga koja omogućava ekonomsku regulaciju cijene vodnih usluga te Uredbi o vrednovanju učinkovitosti poslovanja isporučitelja vodnih usluga koja propisuje 81 pokazatelj prema kojima će Vijeće za vodne usluge provoditi benchmarking u sektoru vodnih usluga. Ove tri uredbe su stupile na snagu 16. srpnja 2023., dan nakon nove Uredbe o uslužnim područjima.

Iz samih naziva navedenih uredbi je vidljivo da svaka od njih detaljno uređuje određeni skup pitanja ključnih za dobro i učinkovito funkcioniranje sektora vodnih usluga kao jednog od najvažnijih sektora za život i zdravlje stanovništva, zaštitu okoliša i za održivi razvoj društva.

Nadalje, u prosincu 2021. godine donesena je Uredba o osnivanju Instituta za vode „*Josip Juraj Strossmayer*“, kojom je osnovan navedeni institut kao javna ustanova, čije su najvažnije zadaće provedba monitoringa voda te izrada stručnih podloga za izradu planskih dokumenta upravljanja vodama, izrada znanstvenih, studijskih i analitičkih podloga za potrebe upravljanja vodama.

Uredbom o izmjenama i dopunama Uredbe o standardu kakvoće voda, koja je stupila na snagu u veljači 2023. godine izmijenjene su i dopunjene klasifikacijske metode i standardi za ocjenu stanja voda, odnosno napravljene su sljedeće ključne izmjene i dopune:

1. za sve površinske vode (rijeke, jezera, prijelazne i priobalne vode) propisane su klasifikacijske metode za ocjenu ekološkog stanja bioloških elemenata kakvoće,
2. propisani se novi standardi za ocjenu ekološkog potencijala rijeka i jezera,
3. izmijenjeni i dopunjeni su standardi kakvoće za ocjenu kemijskog stanja podzemnih voda.

Također, predmetnom Uredbom propisano je donošenje Metodologije uzorkovanja, laboratorijskih analiza i određivanja omjera ekološke kakvoće bioloških elemenata kakvoće i Metodologije monitoringa i ocjenjivanja hidromorfoloških pokazatelja.

U ožujku 2022. godine donesen je Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o izdavanju vodopravnih akata (Narodne novine, broj 39/22) s ciljem ispunjenja obveze iz Akcijskog plana za smanjenje neporeznih i parafiskalnih davanja koji je Vlada Republike Hrvatske prihvatila zaključkom na sjednici održanoj 7. svibnja 2020., a kako bi se osigurala horizontalna usklađenost pozitivnih propisa koji reguliraju naplatu upravnih pristojbi.

3. PLANSKI DOKUMENTI VODNOGA GOSPODARSTVA

U prosincu 2021., donesen je Višegodišnji program gradnje komunalnih vodnih građevina za razdoblje do 2030., koji je jedan od najznačajnijih planskih dokumenata upravljanja vodama. Navedeni Program ujedno predstavlja akt strateškog planiranja povezan s ispunjenjem uvjeta za Višegodišnji financijski okvir 2021. - 2027. EU i reformski je pokazatelj 59 iz NPOO-a. Programom se utvrđuje okvirni program ulaganja u razvoj javne vodoopskrbe i javne odvodnje na koja se Republika Hrvatska obvezala Ugovorom o pristupanju Republike Hrvatske Europskoj uniji. Također se operacionalizira sustav za provedbu na način koji će doprinijeti učinkovitijem korištenju financijskih, kadrovskih i tehničkih resursa kojima raspolaže vodno gospodarstvo u području korištenja i zaštite voda, kao i sektor vodnih usluga. Predmetnim Programom se utvrđuju pojedinačni projekti te definira okvir za praćenje njegove provedbe. Sukladno zahtjevu Europske komisije, 27. srpnja 2022. donesen je i Detaljni provedbeni plan Višegodišnjeg programa gradnje komunalnih vodnih građevina za razdoblje do 2030., kojim je dodatno razrađena prioritizacija projekata odvodnje i pročišćavanja komunalnih otpadnih voda te amortizacija vodnokomunalne infrastrukture.

Nadalje, Vlada Republike Hrvatske je 28. lipnja 2023. donijela Plan upravljanja vodnim područjima do 2027. godine, čiji sastavni dio je i Plan upravljanja rizicima od poplava za isto razdoblje. Donošenjem navedenog Plana ispunjene su obveze Republike Hrvatske koje proizlaze iz Okvirne direktive o vodama te Direktive o procjeni i upravljanju rizicima

od poplava te je o donošenju istog obavještena Europska komisija. Plan sadrži novelirani pregled stanja voda, sustava praćenja stanja voda te program mjera za upravljanje stanjem voda na vodnim područjima u planskom razdoblju 2022. - 2027. godine usmjerenih dostizanju ciljeva zaštite voda. Komponenta upravljanja rizicima od poplava sadrži zaključke Prethodne procjene rizika od poplava, prikaz karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava, ciljeve upravljanja rizicima od poplava te program mjera za ostvarenje tih ciljeva, uključujući preventivne mjere, zaštitu, pripravnost, prognoziranje poplava i sustave za obavješćavanje i upozoravanje, s ciljem smanjenja mogućih štetnih posljedica poplava na ljudsko zdravlje i sigurnost, na vrijedna dobra i imovinu te na vodni i kopneni okoliš. Nakon toga, hrvatski stručnjaci su u vrlo kratkom roku po donošenju Plana, već početkom kolovoza 2023. i formalno završili izvješćivanje podataka iz Plana dobivši potvrdu da su podaci uspješno pohranjeni u Centralno spremište podataka (CDR) Europske informacijske i promatračke mreža za okoliš (EIONET), čime je Hrvatska postala jedna od osam država članica EU koje su do kolovoza 2023. donijele i izvijestile o Planu upravljanja vodnim područjima.

4. FOND SOLIDARNOSTI EUROPSKE UNIJE

Temeljem Odluke Vlade Republike Hrvatske (Narodne novine, broj 125/20), Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja određeno je kao tijelo odgovorno za provedbu financijskog doprinosa (TOPFD) za provedbu operacije „Osiguravanje preventivne infrastrukture oštećene potresom“ za dodjelu bespovratnih financijskih sredstava iz Fonda solidarnosti Europske unije za sanaciju šteta od potresa od 22. ožujka 2020. godine (zagrebački potres). U okviru navedene operacije Uprava vodnoga gospodarstva i zaštite mora, kao ustrojstvena jedinica nadležnog TOPFD-a, bila je nadležna za provedbu Javnih poziva i obradu projektnih prijedloga, kao i za kontrolu provedbe dodijeljenih bespovratnih financijskih sredstava iz Fonda solidarnosti Europske unije. S tim u vezi, Uprava vodnoga gospodarstva i zaštite mora provela je Javni poziv za prijavu projektnih prijedloga za nadoknadu sredstava za sanaciju šteta nastalih potresom, od 22. ožujka 2020., na regulacijskim i zaštitnim vodnim građevinama, te su nakon provedenih postupaka, s Hrvatskim vodama, kao prihvatljivim korisnicima u okviru predmetne operacije sklopljena tri ugovora o dodjeli bespovratnih financijskih sredstava iz Fonda solidarnosti Europske unije za sanaciju oštećenih regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina na području Grada Zagreba, Krapinsko - zagorske županije i Zagrebačke županije, u ukupnom iznosu od 11,94 milijuna eura. Do kraja lipnja 2023. godine, odnosno do krajnjeg roka za iskorištenje sredstava Fonda solidarnosti Europske unije, Hrvatske vode su realizirale ukupno 11,65 milijuna eura te je navedeni iznos Hrvatskim vodama nadoknađen iz sredstava Fonda solidarnosti Europske unije.

Nadalje, temeljem Odluke Vlade Republike Hrvatske (Narodne novine, br. 127/21 i 143/21), Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja je, između ostalih, određeno kao tijelo odgovorno za provedbu financijskog doprinosa (TOPFD) za sanaciju šteta od potresa od 28. i 29. prosinca 2020. (petrinjski potres), i to u okviru sljedećih operacija:

- Osiguranje preventivne infrastrukture oštećene potresom (sanacija objekta obrane od poplava),
- Hitno obnavljanje pogođenih prirodnih područja kako bi se izbjegli neposredni učinci erozije tla,
- Vraćanje u ispravno radno stanje infrastrukture i pogona u području vodoopskrbe i upravljanja otpadnim vodama.

S tim u vezi, Uprava vodnoga gospodarstva i zaštite mora, kao ustrojstvena jedinica TOPFD-a, bila je nadležna za provedbu Javnih poziva i obradu projektnih prijedloga za predmetne operacije, kao i za kontrolu provedbe dodijeljenih bespovratnih financijskih sredstava iz Fonda solidarnosti Europske unije (dalje: FSEU). U okviru navedenih operacija, s prihvatljivim korisnicima (Hrvatske vode, javni isporučitelji vodnih usluga, županije te gradovi i općine) sklopljeno je ukupno 80 ugovora o dodjeli bespovratnih financijskih sredstava iz FSEU na ukupan iznos od 132,57 milijuna eura. Ukupna realizacija od strane korisnika do kraja lipnja 2023. godine, odnosno do krajnjeg roka za iskorištenje sredstava FSEU, iznosila je 113,62 milijuna eura, koja su korisnicima nadoknađena iz bespovratnih sredstava FSEU. Bitno je napomenuti da temeljem Odluke Vlade Republike Hrvatske, od 28. lipnja 2023. godine, o nastavku financiranja projekata započetih iz FSEU iz sredstava državnog proračuna Republike Hrvatske, propisano da će se projekti započeti iz FSEU, kod kojih je u tijeku provođenje ugovora o izvođenju radova, a koji se ne odnose na projekte cjelovite obnove zgrada, financirati iz sredstava državnog proračuna u onom dijelu koji je potreban za završetak projekata iznad iznosa osiguranog iz FSEU. S tim u vezi, za sve aktivnosti koje su započete iz FSEU, a nisu se stigle dovršiti do krajnjeg roka iskorištenja sredstava FSEU osigurana su sredstva u državnom proračunu Republike Hrvatske, pa tako i za aktivnosti u okviru operacija za koje je nadležna Uprava vodnoga gospodarstva i zaštite mora. Poslovi u okviru provedbe FSEU svakako su bili neplanirani u Upravi vodnoga gospodarstva i zaštite mora, a isti su u velikom dijelu zaposlili kapacitete Uprave te je osim pripreme Javnih poziva i obrade projektnih prijedloga, u okviru 83 ugovora o dodjeli bespovratnih financijskih sredstava iz FSEU trebalo provesti kontrolu provedbe dodijeljenih bespovratnih financijskih sredstava, a što obuhvaća obradu oko 450 zahtjeva za nadoknadom sredstava.

5. PROVEDBA PROJEKATA NAVODNJAVANJA U RAZDOBLJU 2020. - 2023. I MOGUĆNOSTI DALJNJEG RAZVOJA DO 2027.

U prethodnom četverogodišnjem razdoblju nastavljena su ulaganja u izgradnju sustava navodnjavanja, kao i razvoj projektne dokumentacije za daljnja ulaganja. Izgradnja sustava navodnjavanja nastavila se financirati uglavnom putem Programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. - 2020. putem Mjere 4.3.1., intenzitet potpore iznosio je do 100 % od ukupnih prihvatljivih troškova projekta, a omjer sufinanciranja: 85 % EU, 15 % nacionalna sredstva. Izgradnja sustava navodnjavanja Puškaš u Osječko - baranjskoj županiji financirana je nacionalnim sredstvima. U navedenom razdoblju izgrađeno je 17 novih sustava navodnjavanja i omogućeno je navodnjavanje na ukupno 7.028 ha novih poljoprivrednih površina te je ukupno uloženo 79,00 milijuna eura. Trenutno se u izgradnji nalazi sustav navodnjavanja Gat ukupne površine 459 ha i vrijednosti 4,57 milijuna eura.

Nastavljena su i daljnja ulaganja u izradu projektne dokumentacije kako bi se osigurao dovoljan broj pripremljenih projekata, čija će se izgradnja financirati u razdoblju od 2023. - 2027. U pripremi je još 27 projekata javnog navodnjavanja ukupnog obuhvata oko 19.000 ha i planske vrijednosti od oko 345,00 milijuna eura. Od ovih 27 projekata četiri imaju pripremljenu svu potrebnu projektnu dokumentaciju i građevinske dozvole te su spremna za gradnju.

Tablica 1. Ulaganja u sustave navodnjavanja u razdoblju 2020. - 2023.

	Sustav navodnjavanja	Županija	površina (ha)	Vrijednost sa PDV-om €
	Sustavi navodnjavanja izgrađeni nacionalnim sredstvima u razdoblju 2020.-2023.			
1.	SN Puškaš	Osječko-baranjska	916	3.799.588,56
	Ukupno		916	3.799.588,56
	Sustavi navodnjavanja izgrađeni putem PRR RH u razdoblju 2020.-2023.			
1.	SN Sopot	Vukovarsko-srijemska	704	3.524.215,54
2.	SN Blata - Cerna	Vukovarsko-srijemska	500	4.117.178,31
3.	SN Baštica 2. faza	Zadarska	128	2.104.732,63
4.	SN Lišansko polje	Zadarska	232	3.631.735,35
5.	SN Glog	Dubrovačko-neretvanska	312	3.205.192,00
6.	SN Novi Gradac - Detkovac	Virovitičko-podravska	750	5.738.822,00
7.	SN Orubica	Brodsko-posavska	326	4.279.452,00
8.	SN Červar Porat-Bašarinka	Istarska	490	15.971.930,00
9.	SN Donja Baštica	Zadarska	108	970.601,00
10.	SN PI Osijek	Osječko-baranjska	212	1.895.622,54
11.	SN Mala šuma Veliki vrt	Osječko-baranjska	78	1.278.225,10
12.	SN Ervenica	Vukovarsko-srijemska	738	7.914.267,00
13.	SN Lipovac	Vukovarsko-srijemska	820	9.150.325,00
14.	SN Budimci-Krndija	Osječko-baranjska	565	3.582.367,00
15.	SN Kapinci-Vaška 2. faza	Virovitičko-podravska	568	4.620.003,00
16.	SN Donje polje-Jadrtovac	Šibensko-kninska	297	9.661.622,00
	Ukupno		6.828	81.646.290,47

	Sustav navodnjavanja	Županija	površina (ha)	Vrijednost sa PDV-om €
	Sustavi navodnjavanja u izgradnji putem PRR RH			
1.	SN Gat (proširenje)	Osječko-baranjska	468	3.614.747,37
	Ukupno		468	3.614.747,37

Osim na provedbi projekata planiranih prethodnim programskim razdobljem, u protekle četiri godine intenzivno se sudjelovalo u izradi strateških dokumenata, kako iz područja vodnoga gospodarstva, tako i iz područja poljoprivrede kako bi se i u narednom programskom razdoblju omogućio razvoj i ulaganja u sustave navodnjavanja. Valja napomenuti da je u tom procesu donesena i Strategija poljoprivrede do 2030. (Narodne novine, broj 26/22) kojom je osmišljena vizija razvoja za razdoblje do 2030. godine koja uključuje održivo upravljanje prirodnim resursima uz povećanje otpornosti na klimatske promjene. Isto tako, donesen je i Strateški plan u okviru Zajedničke poljoprivredne politike (Odluka o donošenju Strateškog plana zajedničke poljoprivredne politike Republike Hrvatske 2023. - 2027. (Narodne novine, broj 22/23)). Ovim dokumentom podupiru se intervencije usmjerene na posebne potrebe država članica i njihovih regija. Isti je osmišljen u skladu s novim pristupom usmjerenim na rezultate i uspješnost u cilju ostvarenja konkretnih rezultata u odnosu na posebne ciljeve ZPP-a na razini EU-a, ali i doprinos europskom zelenom planu. Također su ponovno omogućene investicije u navodnjavanje kako u financiranje sustava javnog navodnjavanja tako i za ulaganja u sustave na parceli. Tako je intervencijama 73 i 74 omogućeno ulaganje u sustave navodnjavanja kako javne, tako i one privatne na parceli.

Intervencijom 74.01. Potpora za sustave javnog navodnjavanja osigurana je potpora za provedbu projekata sustava javnog navodnjavanja u razdoblju 2023. - 2027., a planirana je na cijelom području Republike Hrvatske. Za financiranje je prihvatljiv projekt koji uključuje gradnju novog sustava javnog navodnjavanja u skladu s tehničkim rješenjima i građevinskom dozvolom (akumulacije, crpne stanice, cjevovodi, distribucijska mreža, nadzorno upravljački sustav, kanali, melioracijska odvodnja (uključujući i podzemnu drenažu) kao elementi funkcionalne cjeline projekta i slično), a koji dovodi do povećanja neto navodnjavanog područja. Prihvatljivi korisnici su jedinice područne (regionalne) samouprave. Neprihvatljiva su ulaganja u sanaciju / adaptaciju i tekuće održavanje postojećeg sustava javnog navodnjavanja.

Intenzitet potpore iznosi od 80 do 100 % od ukupnih prihvatljivih troškova projekta, ovisno o razvijenosti područja na kojem se provodi ulaganje. Najviša vrijednost potpore po projektu iznosi do 15,00 milijuna eura, što ne predstavlja ulaganje u "largescale infrastructure".

Ukupan iznos planiranih sredstava za navedeno razdoblje iznosi 72,35 milijuna eura, provedba projekta od donošenja odluke Agencije za plaćanja kojim se dodjeljuju sredstva korisniku do podnošenja konačnog zahtjeva za isplatu može trajati najduže 36 mjeseci, ali ne duže od 30. lipnja 2029. godine.

Intervencijom 73.10 - Potpora za ulaganja u primarnu poljoprivrednu proizvodnju omogućeno je ulaganje u izgradnja i / ili opremanje sustava za navodnjavanje na poljoprivrednom gospodarstvu i sustava za navodnjavanje izvan poljoprivrednog gospodarstva

za potrebe primarne proizvodnje poljoprivrednog gospodarstva. Prihvatljivi korisnici su fizičke i pravne osobe (isključujući obveznike javne nabave) upisane u Upisnik poljoprivrednika te proizvođačke organizacije. Ova potpora predstavlja bespovratna sredstva u visini od 15.000 eura do 2 milijuna eura. Intenzitet potpore iznosi 65 % vrijednosti ukupno prihvatljivih troškova projekta, a može se uvećati do 80 % za ulaganja povezana s jednim ili više specifičnih ciljeva utvrđenih u članku 6. stavku 1. točkama (d), (e) i (f) te, u pogledu dobrobiti životinja, u članku 6. stavku 1. točki (i) Uredbe (EU) 2021/2115 koja nadilaze obvezne zahtjeve ili uobičajenu praksu i ulaganja koja provode mladi poljoprivrednici.

Ulaganja u poboljšanje postojećih instalacija za navodnjavanje, bilo da se radi o ulaganjima koja će doprinijeti uštedi vode, kao i ulaganje u poboljšanje postojećih sustava navodnjavanja na vodnim tijelima koja imaju ocjenu manju od „dobro stanje“ - u ovom programskom razdoblju nije primjenjivo.

6. MEĐUNARODNA SURADNJA U VODNOM GOSPODARSTVU

U području međunarodne suradnje nastavljena je provedba međunarodnih ugovora i konvencija koje je Republika Hrvatska potpisala u području gospodarenja vodama. Radi se o bilateralnim ugovorima o vodnogospodarskoj suradnji između Republike Hrvatske i Mađarske, Slovenije, Bosne i Hercegovine i Crne Gore te Bavarske te multilateralnim sporazumima i konvencijama, između kojih su osobito značajne Konvencija o suradnji na zaštiti i održivoj uporabi rijeke Dunav i Okvirni sporazum o slivu rijeke Save.

7. EUROPSKI POSLOVI I EU LEGISLATIVA

U području europskih poslova i EU legislativa u proteklom razdoblju, osobito u lipnju i srpnju 2023. intenziviran je rad na Prijedlogu direktive Europskog parlamenta i Vijeća o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (preinaka), koji je objavljen 26. listopada 2022. godine. Konkretno, nakon prvotnog teksta, švedsko predsjedništvo Vijećem Europske unije je krajem lipnja 2023. izašlo s revidiranim tekstom Prijedloga direktive, a nakon njega i španjolsko predsjedništvo je odradilo niz sastanaka na kojima se iskristaliziralo da većina država članica pozdravlja ambiciju Prijedloga direktive za bolju i učinkovitiju zaštitu voda i vodnoga okoliša, no u prihvatljivim vremenskim okvirima i postavljanjem jasne financijske konstrukcije i pomoći EU u financiranju novih obveza.

U srpnju 2023. godine također se intenzivirao rad na Prijedlogu Direktive o izmjeni Okvirne direktive o vodama, Direktive o podzemnim vodama i Direktive o standardima kakvoće okoliša. Predmetni Prijedlog Direktive također je jedna od zakonodavnih inicijativa, odnosno ključnih mjera Akcijskog plana za postizanje nulte stope onečišćenja, koji je dio Europskog zelenog plana. Ova se inicijativa odnosi na izmjene triju vodnih direktiva: Okvirne direktive o vodama, Direktive o podzemnim vodama i Direktive o standardima kvalitete okoliša, koje su zajedno usmjerene na zaštitu podzemnih i površinskih voda. Sukladno zahtjevima iz navedenih važećih direktiva, Europska komisija ima obvezu redovitog preispitivanja popisa onečišćujućih tvari u površinskim i podzemnim vodama i njihovih standarda kvalitete okoliša (SKVO). Stoga je jedan od glavnih ciljeva ovoga Prijedloga Direktive ažurirati popise onečišćujućih tvari koje utječu na površinske i podzemne vode dodavanjem i uklanjanjem tvari te ažuriranjem postojećih SKVO-a, uz

druga poboljšanja zakonodavstva kako bi se povećala njegova djelotvornost, učinkovitost i usklađenost. Krajnji je cilj inicijative utvrditi nove standarde za niz zabrinjavajućih kemijskih tvari kako bi se riješio problem kemijskog onečišćenja vode, olakšala provedba na temelju pojednostavnjenog i usklađenijeg pravnog okvira, prikupljale dinamične i ažurne informacije o stanju vode uz pomoć Europske agencije za okoliš (EEA) te stvorio fleksibilniji okvir za rješavanje problema onečišćujućih tvari koje izazivaju zabrinutost. Radi osiguravanja maksimalnih sinergija i usklađenosti zakonodavstva EU-a o kemikalijama taj bi se rad temeljio na širokom uključivanju dionika te čvrstoj znanstvenoj potpori Europske agencije za kemikalije (ECHA).

Sve važnije je pitanje količine voda, osobito sagledano u kontekstu klimatskih promjena te se sve više pozornosti posvećuje racionalizaciji potrošnje vode, metodama za sprječavanje gubitaka vode, osobito u vodoopskrbnim sustavima te ponovnoj uporabi pročišćene otpadne vode za navodnjavanje u poljoprivredi, što je uređeno u svibnju 2020. donesenom Uredbom (EU) Europskog parlamenta i vijeća od 25. svibnja 2020. o minimalnim zahtjevima za ponovnu upotrebu vode, koja se primjenjuje od 26. lipnja 2023. Većina europskih država koje za sada ne oskudijevaju vodom, uključujući Hrvatsku, je oprezna kada je riječ o uporabi pročišćenih otpadnih voda za navodnjavanje, prvenstveno iz razloga nedovoljne zdravstvene sigurnosti hrane proizvedene na takav način, kao i pitanja ekonomičnosti, s obzirom da isto zahtjeva posebnu, dodatnu infrastrukturu.

S druge strane, Republika Hrvatska danas intenzivno ulaže u razvoj sustava javnog navodnjavanja, a pokazalo se da u njima još uvijek postoji određeni neiskorišteni kapacitet. Istodobno, poljoprivredni proizvođači prilagođavaju svoju poljoprivrednu proizvodnju novim uvjetima i novim agrotehničkim mjerama, uključujući i navodnjavanje kao jednu od mjera prilagodbe klimatskim promjenama, što je značajno utjecalo na povećanje troškova poljoprivredne proizvodnje.

Imajući to u vidu, korištenje pročišćenih komunalnih otpadnih voda za navodnjavanje u poljoprivredi u ovom trenutku predstavlja značajan rizik za javne isporučitelje usluga prikupljanja i pročišćavanja otpadnih voda kao vodne usluge. U nedostatku sigurnog / pouzdanog tržišta za plasiranje pročišćene otpadne vode, morali bi povezati sve te troškove s već preopterećenim troškovima prikupljanja i obrade otpadnih voda. Naime, vrlo nesigurni tržišni uvjeti i značajne promjene cijena sirovina u ovom trenutku čine poljoprivredne proizvođače partnerima koji se ne mogu dugoročno obvezati na korištenje pročišćenih komunalnih otpadnih voda.

Budući da Uredba ne sprječava države članice da dopuste korištenje takve vode u druge svrhe (navodnjavanje sportskih terena, zelenih površina, pranje ulica i slično), koje se čine primjerenim i sigurnim, a s obzirom na sve veće suše, Republika Hrvatska će procijeniti i sve druge potencijalne uporabe u budućnosti.

8. PROJEKTI VODNOGA GOSPODARSTVA IZ OPERATIVNOG PROGRAMA KONKURENTNOST I KOHEZIJA (2014. - 2020.)

U okviru OPKK 2014. - 2020. za projekte vodnokomunalne infrastrukture, alocirano je ukupno 849,3 milijuna eura bespovratnih sredstava, te s dodatnih 100 miliona eura koji su ostali raspoloživi na Prioritetnoj osi 7 Povezanost i mobilnost (Promet) alokacija iznosi 949,3 milijuna eura bespovratnih sredstava.

Od navedenog iznosa do kraja listopada 2023. godine realizirano je nešto više od 1,03 milijarde eura, odnosno trenutna iskorištenost alokacije iznosi 108,97 %.

Odobreno je 60 projekata od kojih:

- 11 projekata će se cjelovito prebaciti u NPOO,
- 10 projekata biti će završeno do kraja 2023.,
- 15 projekata završiti će se nacionalno do 2025. godine (do zatvaranja OPKK 2014. - 2020.),
- 14 projekata će se završiti nacionalno do 2027. godine,
- 9 projekata će se nastaviti financirati kroz novo programsko razdoblje PKK 2021. - 2027.,
- 1 ugovor o dodjeli bespovratnih sredstava biti će raskinut.

Također u OPKK 2014. - 2020. u cilju prilagodbe na klimatske promjene, sprječavanje rizika i upravljanje njima, alocirano je ukupno 179 milijuna eura bespovratnih sredstava od kojih je 114 milijun eura predviđeno za projekte obrane od poplava. Ukupno je odobreno 13 projekata od čega su 5 projekti obrane od poplave ukupne vrijednosti 184,5 milijuna eura, od čega prihvatljivi troškovi iznose 183,2 milijuna eura od čega bespovratna sredstva iznose 157,7 milijuna eura (realizirano 84,8 milijuna eura, odnosno 74,4 % alociranih sredstava) te 8 projekata upravljanja ostalim rizicima od katastrofa ukupne vrijednosti 116,1 milijuna eura, od čega bespovratna sredstva iznose 98,7 milijuna eura (realizirano 50,7 milijuna eura, odnosno 78 % alociranih sredstava).

Od navedenog alociranog iznosa, do listopada 2023. godine realizirano je 135,54 milijuna eura, odnosno 75,78 %.

9. PROJEKTI VODNOGA GOSPODARSTVA IZ NACIONALNOG PLANA OPORAVKA I OTPORNOSTI (NPOO)

U okviru NPOO-a za projekte unaprjeđenja vodnog gospodarstva osigurano je 697 milijuna eura bespovratnih EU sredstava od čega se 539 milijuna eura odnosi na vodnokomunalni sektor, a 158 milijuna eura se odnosi na smanjenje rizika od katastrofa. Uz navedeno, Odlukom Vlade Republike Hrvatske omogućen je „overbooking“ do odobrenja sredstava zajma kroz prijedlog dodatka Nacionalnom planu oporavka i otpornosti 2021. - 2026. od strane Vlade Republike Hrvatske čime će sredstva dostupna vodnokomunalnom sektoru biti uvećana za 305 milijuna eura. Ovime je vodnokomunalnom sektoru ukupno na raspolaganju 844 milijuna eura, a uz sredstva osigurana za smanjenje rizika od katastrofa od 158 milijuna eura, sveukupno je za unaprjeđenje vodnoga gospodarstva iz mehanizma za otpornost i oporavak osigurano 1,002 milijardi eura.

Pregled objavljenih poziva:

1. Financiranje provedbe već započetih investicijskih projekata koji se odnose na manje dijelove sustava javne vodoopskrbe i javne odvodnje otpadnih voda - zatvoren. Odobreno je ukupno 73 projekta te su javnim isporučiteljima vodnih usluga kao korisnicima projekata dodijeljena bespovratna EU sredstva u iznosu od 93,8 milijuna eura. Do sada isplaćeno 64,1 milijun eura bespovratnih sredstava.

2. Financiranje provedbe investicijskih projekata koji se odnose na manje dijelove sustava javne vodoopskrbe i javne odvodnje otpadnih voda - u tijeku. Do sada je zaprimljeno 120 projektnih prijava od kojih su 102 zadovoljile fazu administrativne provjere i provjere prihvatljivosti prijavitelja. Od navedenog broja, za 66 prijava su donesene Odluke o financiranju te su potpisani Ugovori o dodjeli bespovratnih sredstava i Ugovori o sufinanciranju kroz koje je dodijeljeno 314,9 milijuna eura. Za preostale prijave je u tijeku usuglašavanje sadržaja prijava. Do sada isplaćeno 7,1 milijuna eura bespovratnih sredstava.
3. Financiranje provedbe investicije: Mjerni uređaji na vodozahvatima - zatvoren. Korisnik su Hrvatske vode koje su u ime i za račun javnih isporučitelja nabavile i instalirale 584 mjernih uređaja te ih softverski povezale s Hrvatskim vodama čime je omogućeno očitavanje zahvaćenih količina vode na vodozahvatima u realnom vremenu. Dodijeljeno je 8,5 milijuna eura. Do sada je isplaćeno 3,3 milijun eura bespovratnih sredstava.
4. Financiranje provedbe većih investicijskih projekata koji se odnose na poboljšanje vodno-komunalne infrastrukture aglomeracija - u tijeku. Kroz ovaj poziv u planu je prebaciti 11 projekata cjelovitih aglomeracija, te odobriti dva nova projekta (Pula sjever, Sušine - Đurđenovac). Odobren je jedan projekt - Pula sjever. U tijeku pregled 9 projektnih prijava.
5. Financiranje projekata smanjenja rizika od katastrofa u sektoru upravljanja vodama - u tijeku. Odobrena su 33 projekta ukupne vrijednosti 153,4 milijuna eura, a ukupna EU bespovratna sredstva iznose 114 milijuna eura. Do sada isplaćeno 20,3 milijuna eura bespovratnih sredstava.

Do sada je prema Pozivima na dostavu projektnih prijedloga za Financiranje provedbe investicijskih vodnokomunalnih projekata koji se odnose na manje dijelove sustava javne vodoopskrbe i javne odvodnje otpadnih voda odobreno 139 projekata ukupne vrijednosti 511 milijuna eura, a ukupna EU bespovratna sredstva iznose 409 milijuna eura.

Na taj način od raspoloživih 1,002 milijardi eura europskih sredstava, a putem dodjele 174 ugovora, omogućeno je korištenje 564 milijuna eura što čini 56 % od ukupno raspoloživih europskih sredstava.

Do sada su kroz odobrene projekte ostvareni svi zadani pokazatelji. Do kraja 2023. potrebno je ostvariti sljedeće pokazatelje: 60 sklopljenih ugovora o radovima za infrastrukturne projekte odvodnje (do sada ostvareno 78), 100 sklopljenih ugovora o radovima za projekte vodoopskrbe (do sada ostvareno 143), 517 km izgrađene ili rekonstruirane mreže javne vodoopskrbe (do sada ostvareno 339,3 km), uspostavljeno dodatnih 35 DMA zona te 65 km izgrađenih građevina za zaštitu od poplava (do sada ostvareno 25,7 km).

10. PROJEKTI VODNOGA GOSPODARSTVA IZ PROGRAMA KONKURENTNOST I KOHEZIJA (2021. - 2027.)

Na raspolaganju za ulaganja je 816,5 milijuna eura, od čega 695 milijuna eura za vodno-komunalne projekte te 121,5 milijuna eura za projekte zaštite od poplava. 425,3 milijuna eura bespovratnih sredstava potrebno je za projekte koji se faziraju iz OPKK 2014. - 2020. Do kraja godine, planiran je pretpoziv s obzirom na velik broj spremnih projekata, a

ograničena sredstva će se odobriti u skladu s prioritizacijom projekata iz dokumenta „Detaljni provedbeni plan Višegodišnjeg programa gradnje komunalnih vodnih građevina za razdoblje do 2030.“ i uvjeta spremnosti projekata.

ZAKLJUČAK

Iz ovih nekoliko izdvojenih najznačajnijih aktivnosti razvidno je da je razdoblje od 7. do 8. hrvatske konferencije o vodama za Upravu vodnoga gospodarstva i zaštite mora kao i u sektoru vodnih projekata bilo jako aktivno i izazovno, pogotovo jer se isto odvijalo u vrijeme svjetske pandemije bolesti COVID-19 te u vrijeme dva potresa koji su se dogodili u ožujku i prosincu 2020. Naredno razdoblje pred nama donosi pregršt novina i daljnjih aktivnosti te Uprava vodnoga gospodarstva i zaštite mora nastavlja još većom dinamikom raditi na ispunjenju zacrtanih zadataka i ciljeva, s ciljem zaštite voda i poboljšanja upravljanja vodama u Republici Hrvatskoj.

LITERATURA

- [1] „Narodne novine“, broj 91/2008 : *Strategija upravljanja vodama*
- [2] „Narodne novine“, broj 66/19, 84/21 i 47/23 *Zakon o vodama*
- [3] „Narodne novine“, broj 153/2009, 90/2011, 56/2013, 154/2014, 119/2015, 120/2016, 127/2017, 66/2019: *Zakon o financiranju vodnoga gospodarstva*
- [4] „Narodne novine“, broj 66/19 *Zakon o vodnim uslugama*
- [5] „Narodne novine“, broj 22/2023 Odluka o donošenju Strateškog plana zajedničke poljoprivredne politike Republike Hrvatske 2023.-2027.
- [6] „Narodne novine“, broj 26/2022 Strategija poljoprivrede do 2030.
- [7] Hrvatska vodoprivreda, srpanj/rujan 2023, broj 244
- [8] Uredba (EU) 2020/741 Europskog parlamenta i vijeća od 25. svibnja 2020. o minimalnim zahtjevima za ponovnu upotrebu vode (SL L 177/32, 5.6.2020.)

AUTORI

Elizabeta Kos, dipl. ing. agr. ^a

Miro Macan, dipl. ing. agr. ^a

Marija Čulinović Holjevac, dipl. ing. agr. ^a

^a Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Radnička cesta 80, Zagreb, 10000, Hrvatska, elizabeta.kos@mingor.hr, miro.macan@mingor.hr, marija.culinovicholjevac@mingor.hr



P.02.

AKTUALNI IZAZOVI HRVATSKIH VODA

Zoran Đuroković

SAŽETAK: U radu se opisuju glavne aktivnosti Hrvatskih voda u posljednje vrijeme. U svega nekoliko godina dogodili su se katastrofalni potresi na širem zagrebačkom području i na Banovini 2020. godine koji su u značajnoj mjeri oštetili vodne građevine, velika suša 2022. godine i brojne velike vode i poplave širom Hrvatske u 2023. godini. Na sve te izazove Hrvatske vode su primjereno odgovorile. Istovremeno na raspolaganju su nam velika financijska sredstva iz različitih fondova Europske unije što nas potiče na intenzivnu pripremu i provedbu različitih razvojnih vodnogospodarskih projekata zaštite od poplava, javne vodoopskrbe, javne odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda i navodnjavanja. Ukupna godišnja ulaganja Hrvatskih voda 2023. godine koja uključuju i europska sredstva dostići će iznos od gotovo jedne milijarde eura, što je gotovo dvostruko više nego prije nekoliko godina. Raspoloživa financijska sredstva iz europskih fondova usmjerena u vodnogospodarske projekte ujedno su od velikog značenja ne samo za građevinski sektor, nego i za gospodarstvo u cjelini.

Razvojni vodnogospodarski projekti utvrđeni su planskim dokumentima upravljanja vodama čije su nacрте pripremile Hrvatske vode, a donijela ih je Vlada Republike Hrvatske. U posljednje dvije godine doneseni su Plan upravljanja vodnim područjima do 2027. i Višegodišnji program gradnje komunalnih vodnih građevina za razdoblje od 2030. godine.

KLJUČNE RIJEČI: Plan upravljanja vodnim područjima do 2027., Višegodišnji program gradnje komunalnih vodnih građevina za razdoblje do 2030. godine, Obrana od poplava, Javna vodoopskrba, Javna odvodnja i pročišćavanje otpadnih voda, Navodnjavanje, Europski fondovi

CURRENT CHALLENGES OF HRVATSKE VODE

ABSTRACT: The paper describes the main recent activities of Hrvatske vode. In only several years, catastrophic earthquakes in the greater Zagreb area and in Banovina, which significantly damaged water facilities, occurred, as well as a great drought (2022), and numerous flood events across Croatia (2023). Hrvatske vode adequately responded to all these challenges. At the same time, we have sizeable financing available from different funds of the European Union, which encourages us to intensely prepare and implement various water management development projects in the field of flood protection, public

water supply, public wastewater collection and treatment, and irrigation. The total annual investments of Hrvatske vode in 2023, which also include EU financing, will reach the amount of nearly €1 billion, which is virtually twice the amount in the previous several years. The available financing from the EU funds channelled into water management projects is not only of great significance for the construction sector, but also for the entire economy.

Water management development projects were determined in the water management planning documents, whose drafts were prepared by Hrvatske vode and which were adopted by the Government of the Republic of Croatia. In the past two years, the River Basin Management Plan until 2027 and the Multi-Annual Programme for the Construction of Water and Wastewater Facilities for the period until 2030 have been adopted.

KEYWORDS: River Basin Management Plan until 2027, Multi-Annual Programme for the Construction of Water Utility Facilities for the period until 2030, Flood defence, Public water supply, Public wastewater collection and treatment, Irrigation, EU funds

1. UVOD

Hrvatske vode osnovane Zakonom o vodama (Narodne novine, br. br. 66/19, 84/21 i 47/23), pravna su osoba čija je djelatnost upravljanje vodama u Republici Hrvatskoj. Zadužene su za pripremu i provedbu razvojnih projekata zaštite od poplava, odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda, javne vodoopskrbe i navodnjavanja, predviđenih dugoročnim strateškim, planskim i programskim dokumentima upravljanja vodama - Strategijom upravljanja vodama (Narodne novine, broj 91/08), Planom upravljanja vodnim područjima do 2027. (Narodne novine, broj 84/23), Višegodišnjim programom gradnje komunalnih vodnih građevina za razdoblje do 2030. godine (Narodne novine, broj 147/21), Višegodišnjim programom gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije (Narodne novine, broj 117/15) čija je novela za razdoblje do 2030. godine trenutačno u fazi strateške procjene utjecaja na okoliš i Nacionalnim projektom navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama. Godišnje aktivnosti Hrvatskih voda utvrđuju se Planovima upravljanja vodama koje donosi Upravno vijeće.

U tim procesima kao investitori sudjeluju javni isporučitelji vodnih usluga za vodnokomunalne projekte i županije za projekte navodnjavanja, dok su za razvojne projekte zaštite od poplava isključivo odgovorne Hrvatske vode. Hrvatske vode ujedno su zadužene za održavanje funkcionalnosti postojećih sustava zaštite od poplava i za provedbe operativnih mjera obrana od poplava.

Posljednjih desetak godina, a naročito u posljednje vrijeme, razvojni projekti su intenzivirani, kako bi se dosegli standardi upravljanja vodama propisani europskom pravnom stečevinom i kako bi se u što većoj mjeri iskoristila bespovratna financijska sredstva raspoloživa u europskim fondovima. Ukupne vrijednosti godišnjih realizacija Planova upravljanja vodama su se u razdoblju od 2013. do 2019. godine kretale u rasponu od oko 310 do oko 446 milijuna eura, da bi nakon toga uslijedio značajan uzlazni trend. Godine 2020. realizacija je iznosila oko 487 milijuna eura, godine 2021. oko 688 milijuna eura, godine 2022. oko 752 milijuna eura, da bi Planom upravljanja vodama za 2023. godina bila predviđena ukupna realizacija od oko 950 milijuna eura. Razlog tom trendu je intenzivno korištenje raspoloživih sredstava iz različitih EU fondova.

Istovremeno se javljaju sve češće i intenzivnije velike vode i poplave, što zahtijeva znatno veće napore u redovitim održavanjima funkcionalnosti postojećih zaštitnih sustava i u operativnim obranama od poplava u odnosu na ranija razdoblja, ali isto tako i intenzivne suše koje zahtijevaju ulaganje većih napora u sigurnost vodoopskrbe i smanjenje šteta u poljoprivredi.

Navedeni izazovi okviri su u kojima danas djeluju Hrvatske vode, čije je djelovanje posljednjih godina detaljnije opisano u ovom radu.

2. OBRANA OD POPLAVA

2.1. Sanacija oštećenja regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina od posljedica potresa na zagrebačkom i petrinjskom području

Godina 2020. ostati će zapamćena po dva izuzetno snažna potresa, prvi u ožujku 2020. magnitude 5,5 stupnja po Richteru s epicentrom na području Grada Zagreba, a drugi krajem 2020. godine magnitude 6,2 stupnja po Richteru s epicentrom na području Grada Petrinje. Ovi potresi izazvali su velike materijalne štete na širem epicentralnom području, a naročito u staroj jezgri Grada Zagreba te na području gradova Petrinje, Gline i Siska. Nažalost u zagrebačkom potresu stradala je i jedna osoba, uz veći broj ozlijeđenih, dok je u petrinjskom potresu bilo sedam smrtno stradalih osoba uz također veći broj ozlijeđenih. Dakako, na potrese nisu bili imuni niti nasipi, niti ostale vodne građevine. Iz tog razloga neposredno nakon potresa u najkraćem mogućem roku izvršena je vizualna kontrola stanja nasipa i ostalih vodnih građevina. Što zbog razlike u samoj jačini potresa, što zbog činjenice da se zagrebački potres dogodio u sušnom ožujku, a petrinjski potres u kišnom prosincu, nasipi na području Grada Zagreba i Zagrebačke županije prošli su puno bolje u odnosu od onih na području Sisačko - moslavačke županije. Vizualnom kontrolom stanja zagrebačkih nasipa u ožujku 2020. nisu uočena nikakva veća fizička oštećenja koja bi ugrožavala njihovu stabilnost i funkcionalnost, osim u naselju Bukevje. Ipak, za detaljniju i kvalitetniju ocjenu stanja nasipa, Hrvatske vode su odlučile u koordinaciji sa Zavodom za geotehniku Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu provesti dodatna geofizička ispitivanja, koja će s visokim stupnjem sigurnosti moći pokazati da li postoji bilo kakav diskontinuitet u tijelu nasipa izazvan potresom, a koji može utjecati na stabilnost nasipa. Kao metoda ispitivanja kojom se na brz i pouzdan način može procijeniti postojanje oštećenja u nasipima, retencijama i branama, odabrana je nerazorna metoda georadara (eng. Ground Penetrating Radar). Ova metoda je inače široko primjenjivana u praksi ispitivanja infrastrukturnih građevina, a temelji se na emitiranju elektromagnetnih valova sustavom antena te zaprimanjem povratnih reflektiranih valova, što nakon obrade prikupljenih podataka omogućuje izradu radargrama. Terenska ispitivanja georadarom svih savskih i uspornih nasipa, te retencija i brana na području Grada Zagreba i Zagrebačke županije izvršena su u razdoblju od samo mjesec dana. Analiza snimljenih podataka pokazala je da ne postoje anomalije koje bi ukazivale na prisustvo znatnijih oštećenja nastalih uslijed djelovanja potresa. Uglavnom, ova metoda ispitivanja pokazala se kao izuzetno zahvalna jer je nerazorna, brza i pouzdana. S druge strane, petrinjski potres uzrokovao je velika oštećenja i na kupskim i na savskim nasipima na području Sisačko - moslavačke županije. Na dva mjesta došlo je do poprečnih pukotina kroz tijelo nasipa, dok je na još 10 - ak mjesta došlo do uzdužnih pukotina u nožici nasipa

u dužini od par stotina metara. Imajući u vidu kako smo se u tom trenutku nalazili u zimskom kišnom razdoblju, bilo je potrebno odmah pristupiti radovima hitnih intervencija na najkritičnim lokacijama. Hitne sanacije izvršene su u roku od samo dva mjeseca, a osim radova stabilizacije nasipa uključivale su izgradnju druge linije obrane od poplava pomoću box barijera punjenih pijeskom te izgradnju gotovo 10 km pristupnih servisnih puteva uz nasipe. Naravno, odmah se pristupilo izradi projekata trajne sanacije svih kritičnih lokacija stradalih u potresu kako bi se nakon prolaska kišne zimske sezone i provedbe postupaka javne nabave moglo započeti i s radovima trajnih sanacija. Nažalost, što zbog poznate procedure postupaka javne nabave, što zbog nepovoljnih vremenskih uvjeta tijekom protekle dvije i pol godine, sami radovi sanacije i rekonstrukcije nasipa stradalih u potresu su se znatno odužili. Ipak, u ovom trenutku radovi su pri samom kraju te se sa sigurnošću može reći kako ćemo nove velike vodne valove Kupe i Save u 2024. godini na ovom području spremno dočekati. Ukupna vrijednost troškova sanacije vodnih građevina stradalih u potresu na području Sisačko - moslavačke županije, Karlovačke županije, Zagrebačke županije, Grada Zagreba i Krapinsko - zagorske županije iznosi 43 milijuna eura, a financijska sredstva osigurana su putem Europskog fonda solidarnosti.

2.2. Velike vode i poplave

Posljednjih godina je zamjetno kako se nastavlja trend klimatskih promjena. Sve učestalije izmjenjuju se ekstremno sušna i ekstremno kišna razdoblja. Hidrološki ciklusi su izuzetno poremećeni, više gotovo da i nema nikakvih pravila za pojavu velikih vodnih valova. Poplave se mogu očekivati i javiti gotovo u bilo koje doba i u bilo kojem dijelu Republike Hrvatske. Možemo zaključiti kako u današnja vremena protupoplavna sezona traje tijekom cijele godine, a primjetno je kako nas sve više ugrožavaju bujične i urbane (gradske) poplave na lokalnom nivou. Ove dvije vrste poplava karakteriziraju žestoke oluje praćene jakim i intenzivnim pljuskovima, pri čemu vrlo brzo i vrlo naglo dolazi do porasta vodostaja i izlivanja iz korita potoka i manjih rječica. Obrana od poplava u takvim uvjetima je znatno sužena, a često i potpuno nemoguća te u većini takvih slučajeva nakon prestanka oluje nažalost preostaje samo sanirati štete. U gradovima na području cijele Republike Hrvatske je sve primjetniji fenomen tzv. urbanih poplava, a posebno je izražen tijekom ljetnog razdoblja. Najurbaniziraniji dio Republike Hrvatske obalni je pojas, u kojem se nalazi više gradskih središta veličine 50.000 do 250.000 stanovnika (Split, Rijeka, Zadar, Pula, Dubrovnik, Šibenik). Upravo u ovim gradovima na obali najčešće se događaju pojave poplava uslijed nemogućnosti odvodnje oborinskih voda, a veliki problemi s oborinskim poplavama i odvodnjom zabilježeni su i u nizu manjih gradova i mjesta uz obalu (Umag, Poreč, Crikvenica, Vodice i drugi). Dakako da na urbane poplave nisu imuni niti mnogi gradovi u unutrašnjosti (Zagreb, Osijek, Varaždin, Našice, Križevci, Bjelovar, Požega i drugi). Prisjetimo se samo velike poplave u Gradu Zadru iz 2017. godine, a posljednjih godina bili su plavljeni i Zagreb (srpanj 2020.), Požega čak u tri navrata (lipanj 2021., prosinac 2022., svibanj 2023.), Rijeka (rujan 2022.). Potrebno je napomenuti kako i ostatak svijeta muči muku s urbanim poplavama. Plavljeni su i megagradovi London, Tokio, Sao Paolo i drugi, a nedavno u rujnu 2023. bio je poplavljen i New York pri čemu su poplave pogodile više od 20 milijuna ljudi. Srećom u Hrvatskoj sve do poplave u Rijeci prošle godine (jedan poginuli) još uvijek nije došlo do gubitaka ljudskih života uslijed oborinskih poplava, već su zabilježene sve učestalije materijalne

štete na stambenim i poslovnim objektima te infrastrukturi, koje su iz godine u godinu sve veće.

Godina 2022. možda na neki način i najbolje ocrta klimatske promjene i u Europi i u Hrvatskoj. Tako je u kolovozu prošle godine u izvješću Europskog opservatorija za sušu (European Drought Observatory - EDO), koji nadzire Europska komisija, objavljeno kako je gotovo cijela Europa suočena s najgorom sušom u posljednjih 500 godina. Dugotrajno sušnije razdoblje bez većih količina oborina utjecalo je i na izrazito niske vodostaje svih većih vodotoka u Hrvatskoj, dok su mnogi manji potoci u potpunosti presušili ili su imali samo neznatno male protoke. Tako su se u kolovozu 2022. vodostaji rijeke Save opasno približili svojim povijesno najnižim vrijednostima iz izrazito sušne 2003. godine, dok je rijeka Drava u Osijeku zabilježila novi najniži vodostaj u povijesti. I kako to obično biva s klimatskim promjenama, nakon problema i ljetnih borbi sa sušom, već prva izrazito obilna kiša u rujnu 2022. donijela je vrlo brzo i probleme s poplavama, osobito uz rijeku Kupu. Tijekom ove kišne epizode u rujnu oboreni su novi apsolutni rekordi u mjesečnoj količini oborine na postajama Crni Lug NP Risnjak, Delnice, Rijeka, Kutina, Daruvar i Sisak. Novi apsolutni rekordi u dnevnoj količini oborine oboreni su na postajama Crni Lug NP Risnjak, Rijeka, Ogulin i Ploče. Novi rujanski rekordi u dnevnoj količini oborine oboreni su na postajama Delnice, Kutina i Požega. Ujedno je i rijeka Kupa u gornjem toku (postaje Selo Kupa, Zapeć i Pribanjci) ostvarila nove rekordne vodostaje. Nove kišne epizode i poplavni događaji uslijedili su i u prosincu 2022., te siječnju, svibnju i kolovozu 2023. godine.

Iznimno opsežne provedbe mjera obrane od poplava provodile su se tijekom mjeseca svibnja i kolovoza 2023. godine. U svibnju 2023. godine ostvarene su nove rekordne količine oborina u Gračacu i novi rekordni vodostaji rijeke Otučke u Gračacu, rijeke Zrmanje u Obrovcu, te rijeke Korane u Karlovcu. Rijeka Kupa u Karlovcu ostvarila je treći po veličini vodostaj od 1926. godine do danas, a rijeka Una u Hrvatskoj Kostajnici peti po veličini vodostaj od 1900. godine do danas.

Posebno treba napomenuti obranu od poplava tijekom kolovoza 2023. kada su rekordno visoki dotoci rijeke Save iz Slovenije iznosili 3.400 m³/s, rijeke Drave 2.000 m³/s, a rijeke Mure 1.400 m³/s. Ovi izuzetno veliki dotoci svih triju rijeka iznimno su neuobičajeni za ljetno razdoblje, a određena produžena dugotrajnost tih velikih dotoka iz Slovenije dovela je i do pojave novih rekordnih visina vodostaja na Savi (Dubrovčak +878 cm - za 6 cm više nego 2010.), Muri (Mursko Središće +543 cm - za 15 cm više nego 2014.) i Dravi (Botovo +616 cm - za 38 cm više nego 2014.). Na provedbi mjera obrane od poplava prema procjeni je sudjelovalo više od 5.300 ljudi (pripadnici Hrvatske vojske, policijskih i vatrogasnih postrojbi, Hrvatske gorske službe spašavanja, civilne zaštite, Crvenog križa i lokalnog stanovništva te Hrvatskih voda i licenciranih tvrtki za radove u vodnom gospodarstvu). Tijekom cijelog trajanja provedbe mjera obrane od poplava dobrom koordinacijom svih nadležnih službi u svakom trenutku bile su dostupne sve potrebne količine materijala i građevinske mehanizacije nužne za kvalitetnu i uspješnu provedbu obrane od poplava. Iz Ravnateljstva za robne zalihe je ustupljeno 413.000 vreća, koje su značajno pomogle sigurnosti i uspješnosti provedbe mjera obrane od poplava. Na ukupnom području Republike Hrvatske ugrađeno je ili dostavljeno jedinicama lokalne samouprave više od pola milijuna vreća. Za potrebe obrane od poplava izgrađeno je ili nadvišeno više od 22 km privremenih nasipa (gotovo 20 km zečjih nasipa od vreća s pijeskom ili zemlje i više

od 2 km pomoću box barijera) za što je utrošeno više od 32.000 m³ različitih vrsta materijala (pijesak, šljunak, zemlja, kamen). S obzirom na velike prijetnje od pojave poplava od rijeke Save, za područje općine Brdovec dana 4. kolovoza 2023. putem Ravnateljstva civilne zaštite upućen je i prvi SMS upozorenja, a dana 7. kolovoza 2023. zbog opasnosti od prodora nasipa rijeke Drave za područje općine Hlebine upućen je i drugi SMS upozorenja. Zahvaljujući ukupnoj koordinaciji svih nadležnih službi u sustavu civilne zaštite, kao i omogućavanju korištenja pripadnika Hrvatske vojske i njihovim neumornim radom za potrebe provedbe mjera obrane od poplava u velikoj mjeri je omogućena uspješnost provedbe aktivnosti u cilju zaštite stanovništva i njihove imovine te smanjenju šteta s obzirom na mogućnost ugroze i stradanja velikih razmjera s obzirom na pojavu ekstremnih hidroloških prilika na gotovo cijelom području Republike Hrvatske.

S obzirom na sve veće razmjere poplavnih događaja tijekom posljednjih godina očekivano su porasli i troškovi aktivne obrane od poplava. U posljednje 4 godine (2020. - 2023.) troškovi obrane od poplava iznose oko 22,3 milijuna eura, što je za 50 % više u odnosu na prethodno četverogodišnje razdoblje (2016. - 2019.) kada su troškovi obrane od poplava iznosili oko 14,7 milijuna eura.

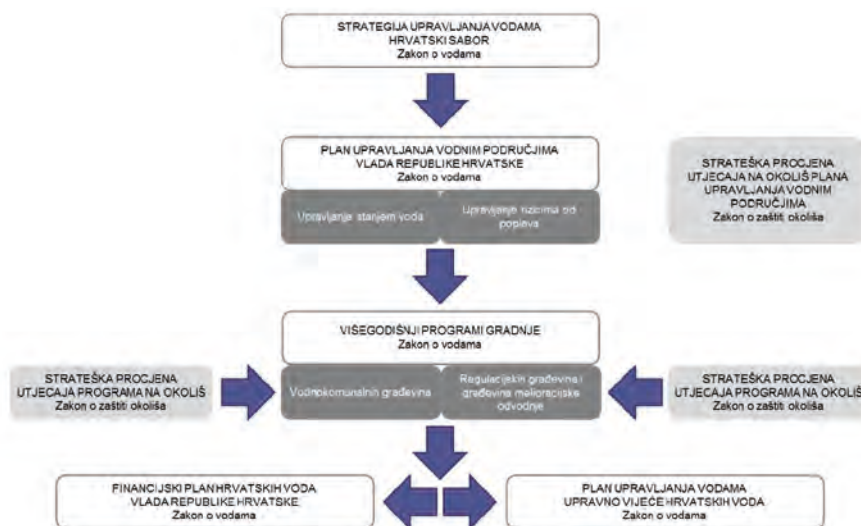


Slika 1. Troškovi aktivne obrane od poplava u razdoblju od 2016. do 2023. godine

S obzirom na najave i dugoročne prognoze za očekivati je kako će se trend klimatskih promjena i izraženih hidroloških ekstrema nastaviti. Bujične i urbane poplave na dobrom su putu da postanu naša svakodnevica. Iz tog razloga potrebna su daljnja ulaganja u rekonstrukciju postojećih i gradnju novih sustava obrane od poplava, pri čemu je potrebno što je više moguće koristiti dostupna financijska sredstva iz raspoloživih EU fondova poput Nacionalnog plana oporavka i otpornosti te novog operativnog programa 2021. - 2027.

3. PLANSKI I PROGRAMSKI DOKUMENTI

Člankom 37. Zakona o vodama uređeno je da su planski dokumenti upravljanja vodama: Strategija upravljanja vodama, Plan upravljanja vodnim područjima, višegodišnji programi gradnje, financijski plan Hrvatskih voda, Plan upravljanja vodama i detaljni planovi. Za pripremu njihovih nacрта prijedloga zadužene su Hrvatske vode.



Slika 2. Planski dokumenti upravljanja vodama

Vlada Republike Hrvatske je na svojoj 230. sjednici održanoj 28. lipnja 2023. godine donijela Odluku o donošenju Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. (Narodne novine, broj 84/23), temeljnog planskog dokumenta upravljanja vodama tijekom sljedećih nekoliko godina. Dokument se sastoji od dvije komponente upravljanja vodnim područjima: upravljanje stanjem voda i upravljanje rizicima od poplava

Upravljanje stanjem voda sadrži novelirani pregled stanja voda, pregled sustava praćenja stanja voda, te program mjera za upravljanje stanjem voda na vodnim područjima u planskom razdoblju 2022. - 2027. godine, koje su usmjerene na dostizanje ciljeva zaštite voda. Upravljanje rizicima od poplava sadrži zaključke Prethodne procjene rizika od poplava, prikaz karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava, ciljeve za upravljanje rizicima od poplava te program mjera za ostvarenje tih ciljeva, uključujući preventivne mjere, zaštitu, pripravnost, prognoziranje poplava i sustave za obavještanje i upozoravanje, sa ciljem smanjenja mogućih štetnih posljedica poplava na ljudsko zdravlje i sigurnost, na vrijedna dobra i imovinu, te na vodni i kopneni okoliš.

Hrvatske vode su 4. kolovoza 2023. godine završile složeni postupak izvješćivanja podataka i informacija iz Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. u Informacijski sustav voda Europske komisije, kao osma od dvadestsedam država članica. Time su stvoreni preduvjeti da Europska komisija napravi procjenu našeg dokumenta kojom ćemo dobiti preporuke za daljnji rad na vodnogospodarskom planiranju, odnosno na pripremi Plana upravljanja vodnim područjima i Plana upravljanja rizicima od poplava za sljedeći planski ciklus 2028. - 2033.

Budući da je Plan upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027. novela drugog Plana upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021., u izradi dokumenta korišteni su rezultati i zaključci iz Izvješća o izvršenju Plana upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. (https://voda.hr/sites/default/files/2022-05/izvjesce_o_izvršenju_plana_upravljanja_vodnim_podrucjima_2016._-2021._u_razdoblju_od_2016._-2018._godine.pdf), koje je na temelju članka 39., stavka 2. Zakona o vodama izrađeno od strane Hrvatskih voda i prihvaćeno od strane Hrvatskog sabora 19. veljače 2021. godine

Ograničen opseg podataka prilikom pripreme Plana upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. dijelom je utjecao na smanjenje pouzdanosti tadašnje procjene stanja voda, analize opterećenja i utjecaja, te praćenja učinka provedenih mjera. Radi toga je u razdoblju od 2016. do 2021. godine intenziviran monitoring stanja voda prema Programu usklađenja monitoringa objavljenom u travnju 2016. godine, sve do razine neophodne za učinkovito i vjerodostojno upravljanje vodama, te je intenziviran rad na daljnjoj pripremi znanstvenih i stručnih podloga, sve sa ciljem osiguranja što kvalitetnije podatkovne osnove za pripremu Plana upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027. Programom usklađenja monitoringa je predviđeno unaprjeđenje organizacije provedbe monitoringa s tendencijom jačanja laboratorijskih kapaciteta uz dodatna ulaganja u prostor, opremu i kadrove, što se postupno provodi.

Veliki doprinos kvaliteti Plana upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027. je provedena interkalibracija klasifikacijskih sustava površinskih kopnenih, prijelaznih i priobalnih voda koja je kroz suradnju hrvatskih biologa s recenzentima određenim od strane Europske komisije dovršena potkraj 2021. godine. Svoj doprinos kvaliteti ovog multidisciplinarnog dokumenta također su dali hidrolozi, hidrotehničari, hidrogeolozi, kemičari, agronomi i oceanografi.

Intenzivne aktivnosti na pripremi Nacrta Plana upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027. započele su u I. kvartalu 2019. godine, kada su prema odredbi članka 45. Zakona o vodama Hrvatske vode na svojoj mrežnoj stranici na poveznici https://voda.hr/sites/default/files/2022-05/program_rada_plana_2022.-2027.pdf objavile Program rada Plana upravljanja vodnim područjima i Plana upravljanja rizicima od poplava 2022. - 2027.

Međukorak u pripremi komponente I. Upravljanje stanjem voda također prema odredbi članka 45. Zakona o vodama bila je izrada dokumenta „Pregled značajnih vodnogospodarskih pitanja“ i njegova objava na mrežnoj stranici Hrvatskih voda u listopadu 2020. godine na poveznici https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/upravljanje-vodama/privremeni_pregled_znacajnih_vodnogospodarskih_pitanja_-_2019.pdf. Dokument je sastavni dio Plana upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027., a njegov sadržaj propisan je člankom 5. Pravilnika o načinu konzultiranja i informiranja javnosti o nacrtu Strategije upravljanja vodama i Plana upravljanja vodnim područjima (Narodne novine, broj 48/14) tako da obuhvaća: cilj i pravni temelj donošenja Privremenog pregleda, pregled postojećih informacija, sažetak značajnih pitanja upravljanja vodama, te sažeti pregled mogućih mjera sistematiziranih prema institucijama i tijelima nadležnim za njihovu provedbu.

Međukoraci u pripremi komponente II. Upravljanje rizicima od poplava bili su izrada dokumenta „Prethodna procjena rizika od poplava“ prema odredbama članka 124. i 125. Zakona o vodama i njegova objava na mrežnoj stranici Hrvatskih voda na poveznici <https://www.voda.hr/hr/prethodna-procjena-rizika-od-poplava-2018> u srpnju 2019. godine, te

izrada karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava za područja s prethodno procijenjenim značajnim rizicima od poplava prema odredbama članka 126. Zakona o vodama i njihova objava na mrežnoj stranici Hrvatskih voda na poveznici <https://voda.hr/hr/karte-opasnosti-od-poplava-i-karte-rizika-od-poplava-2019> u veljači 2021. godine. Programi građevinskih mjera Plana upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027. utvrđeni su Višegodišnjim programom gradnje komunalnih vodnih građevina za razdoblje do 2030. godine (Narodne novine, broj 147/21) donesenim od strane Vlade Republike Hrvatske nakon provedene strateške procjene utjecaja na okoliš i konzultacija sa zainteresiranom javnošću i s Europskom komisijom, te Nacrtom Višegodišnjeg programa gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije 2021. - 2030. za kojeg se trenutačno provodi strateška procjena utjecaja na okoliš (<https://voda.hr/hr/visegodisnji-programi-gradnje>). Višegodišnji programi gradnje propisani člankom 43. Zakona o vodama kroz investicijske mjere objedinjuju obveze iz brojnih direktiva Europske unije, naročito Direktive o procjeni i upravljanju rizicima od poplava, Direktive o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju i Direktive o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda. Programima su utvrđeni pojedinačni projekti, način i razdoblje njihove provedbe, sudionici u provedbi, iznosi ulaganja i izvori sredstava, red prvenstva u provedbi, te praćenje provedbe. Daljnja studijska i projektna razrada vodnih sustava i građevina te priprema odgovarajuće dokumentacije za negrađevinske mjere nužan su preduvjet za prijavu takvih projekata za sufinanciranje od strane europskih fondova.

4. SUFINANCIRANJE RAZVOJA VODNOSPODARSKE INFRASTRUKTURE PUTEM FONDOVA EUROPSKE UNIJE

4.1. Operativni program Konkurentnost i kohezija (2014. - 2020.)

4.1.1. Pregled odobravanja vodnogospodarskih projekata kroz OPKK 2014. - 2020.

Iz Operativnog programa Konkurentnost i kohezija (2014. - 2020.) projekti sektora voda se sufinanciraju iz:

- *prioriteta 5: Promicanje prilagodbe na klimatske promjene, sprečavanje rizika i upravljanje njima*, točnije prioriteta 5b1 Jačanje sustava upravljanja katastrofama gdje je alocirano ukupno 178.735.481,00 eura (inicijalna vrijednost alokacije iznosila je 215.000.000,00 eura) od kojih je 113.735.481,00 eura (inicijalna vrijednost iznosila je 150.000.000,00 eura) predviđeno za projekte voda;
- *prioriteta 6: Očuvanje i zaštita okoliša i promocija učinkovitosti resursa osigurava okvir za sufinanciranje projekata sektora voda*, točnije prioriteta 6ii Ulaganje u vodni sektor kako bi se ispunili zahtjevi pravne stečevine Unije u području okoliša i zadovoljile potrebe koje su utvrdile države članice za ulaganjem koje nadilazi te zahtjeve gdje je alocirano ukupno 849.340.216,00 eura (inicijalna vrijednost alokacije iznosila je 1.049.340.216,00 eura) koji se u cijelosti odnose na projekte vodnokomunalne infrastrukture. Ministarstvo regionalnog razvoja i fondova europske unije za potrebe financiranja vodno - komunalnih projekata osiguralo je mogućnost korištenja dodatnog iznosa od 100.000.000,00 eura koji će ostati neiskorišteni na Prioritetnoj osi 7 OPKK *Povezanost i mobilnost*, tako da je nova vrijednost alokacije 949.340.216,00 eura.

Odobranje projekata u sklopu specifičnog cilja 5b1 (Prioritetna os 5) - Glavne ciljne skupine i korisnici su: državna tijela i organizacije odgovorne za upravljanje rizicima / katastrofama i prikupljanje podataka (Ministarstvo unutarnjih poslova, Državni hidrometeorološki zavod, Hrvatska gorska služba spašavanja, Hrvatska vatrogasna zajednica i druga nadležna ministarstva i agencije), Hrvatske vode kao ustanova zadužena za upravljanje vodama i upravljanje rizicima od poplava te regionalna (županijska) i lokalna tijela vlasti.

U sklopu Operativnog programa „Konkurentnost i kohezija“ 2014. - 2020. donesena je Odluka o financiranju za ukupno 13 projekata ukupnih prihvatljivih troškova u iznosu od 299,73 milijuna eura, od čega EU sredstva iznose 254,76 milijuna eura.

Od navedenih 13 projekata njih 5 su projekti Hrvatskih voda ukupne investicijske vrijednosti 183.669.636,76 eura (sa PDV-om), od čega su bespovratna sredstva 156.119.191,24 eura.

Tablica 1: Prikaz vrijednosti odobrenih projekata - Prioritetna os 5

13 odobrenih projekata	Ukupna vrijednost investicije s PDV-om (EUR)	Ukupni prihvatljivi trošak (EUR)	Udio EU sufinanciranja (EUR)
Hrvatske vode - 5 projekata	183,67 mil.	183,67 mil.	156,11 mil.
MUP - 8 projekata	116,06 mil.	116,06 mil.	98,65 mil.
UKUPNO	299,73 mil.	299,73 mil.	254,76 mil.

Odobranje projekata u sklopu specifičnih ciljeva 6ii1 i 6ii2 (Prioritetna os 6) - U sklopu Operativnog programa „Konkurentnost i kohezija“ 2014. - 2020. do kraja 2020. godine je odobreno 60 projekata ukupnih prihvatljivih troškova u iznosu od 2,67 milijardi eura (bez PDV-a), od čega EU sredstva iznose 1,87 milijardi eura.

Tablica 2: Prikaz vrijednosti odobrenih projekata - Prioritetna os 6

60 odobrenih projekata	Ukupna vrijednost investicije s PDV-om (EUR)	Ukupni prihvatljivi trošak (EUR)	Udio EU sufinanciranja (EUR)
	3,33 mlrd.	2,67 mlrd.	1,87 mlrd.

S obzirom na to da je na određenim projektima došlo do izmjena u smislu povećanja vrijednosti investicije uslijed povećanja cijena, povećanja vrijednosti sekundarnih ugovora, prebačenim ugovornim vrijednostima u odnosu na procijenjene vrijednosti nabave, te posljedično novelacije studija izvodljivosti te izmjena ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava (UoDBS), trenutni iznos portfelja vodnokomunalnih projekata nadmašuje onaj ugovoren po inicijalnim UoDBS. U tablici 3 dana je usporedba inicijalno odobrene vrijednosti portfelja projekata i povećane vrijednosti portfelja.

Tablica 3. Prikaz inicijalno odobrene i povećane vrijednosti portfelja vodnokomunalnih projekata

60 odobrenih projekata	Ukupna vrijednost investicije s PDV-om (EUR)	Ukupni prihvatljivi trošak (EUR)	Udio EU sufinanciranja (EUR)
Inicijalna vrijednost portfelja	3,33 mlrd.	2,67 mlrd.	1,87 mlrd.
Povećana vrijednost portfelja	3,47 mlrd.	2,76 mlrd.	1,93 mlrd.

Projekti predloženi za preraspodjelu iz OPKK 14-20 u NPOO - S obzirom na veliku razinu „*overbooking-a*“ OPKK 14 - 20, Hrvatske vode u ulozi Posredničkog tijela razine 2 predložile su da se 11 projekata koji su odobreni kroz OPKK 14 - 20 preraspodjeli u NPOO, a 2 nova (Pula Sjever i Sušine - Đurđenovac) odobre, a sve u svrhu rasterećenja umanjene alokacije, odnosno u svrhu rasterećenja spomenutog „*overbooking-a*“.

Projekti predloženi za preraspodjelu iz OPKK 14 - 20, odnosno projekti čije će se financiranje osigurati kroz NPOO su: Cres - Lošinj, Beli Manastir, Semeljci, Našice, Đurđevac, Imotski, Slatina, Križevci, Karlovac - Duga Resa, Ivanec i Vrbovec.

Bespovratna sredstva dodjeljuju se putem ograničenog postupka, a rok za podnošenje projektnih prijedloga ističe 31. prosinca 2023. godine.

Maksimalni iznos EU bespovratnih sredstava iz NPOO-a koji je raspoloživ za dodjelu u okviru ovog Poziva iznosi 314.903.538,52 eura.

Predloženi kriteriji za preraspodjelu projekata - Sredstva će se u okviru ovog poziva dodjeljivati za 11 projekata čija je provedba započela u okviru Operativnog programa konkurentnost i kohezija 2014. - 2020. (OPKK 2014. - 2020.) međutim zbog ograničenih sredstva i zbog vremenskog okvira za provedbu projekata nije ih bilo moguće završiti u okviru OPKK 2014. - 2020., te za 2 projekta koji su inicijalno pripremljeni za financiranje iz OPKK 2014. - 2020., ali zbog ograničenih sredstva i zbog vremenskog okvira za provedbu projekata nije ih bilo moguće odobriti kroz navedeno programsko razdoblje.

4.1.2. Iskorištenost alokacije

Prioritetna os 5 - Projekti zaštite od katastrofa - U Tablici 4 dan je pregled ukupne realizacije alokacije za projekte Prioritetne osi 5, te ista iznosi 75,43 % smanjene alokacije, odnosno 134,84 milijuna eura.

Tablica 4. Realizacija alokacije za PO5

PRIORITETNA OS 5	
Inicijalni iznos alokacije	215.000.000,00 EUR
Smanjeni iznos alokacije	178.735.481,00 EUR
Realizacija sa 27.10.2023. godine	135.456.961,08 EUR
Postotak iskorištenja smanjene alokacije	75,79 %

U Tablici 5 dan je pregled realizacije alokacije za projekte Hrvatskih voda u sklopu Prioritetne osi 5, te ista iznosi 74,57 % smanjene alokacije, odnosno 84,81 milijuna eura.

Tablica 5. Realizacija alokacije za PO5 - Projekti Hrvatskih voda

PRIORITETNA OS 5 - Projekti Hrvatskih voda	
Inicijalni iznos alokacije za vodno gospodarstvo	150.000.000,00 EUR
Smanjeni iznos alokacije za vodno gospodarstvo	113.735.481,00 EUR
Realizacija s 27. listopada 2023. godine	84.815.233,81 EUR
Postotak iskorištenja smanjene alokacije	74,57 %

Prioritetna os 6 - Vodnokomunalni projekti - U Tablici 6 prikazana je realizacija alokacije za vodnokomunalne projekte (projekti aglomeracija), koji se provode u sklopu Prioritetne osi 6.

Početna alokacija iznosila je 1.049.340.216,00 eura, a što je za vrijeme COVID pandemije smanjeno za 200.000.000,00 eura, odnosno na 849.340.216,00 eura.

S obzirom na to da je na Prioritetnoj osi 7 OPKK *Povezanost i mobilnost* ostao neiskorišten iznos od 100.000.000,00 eura, Ministarstvo regionalnog razvoja i fondova europske unije navedeni iznos distribuiralo je na vodnokomunalne projekte, te je time nova vrijednost alokacije podignuta na 949.340.216,00 eura.

Zaključno s 27. listopada 2023. godine realizacija je premašila iznos od 950 milijuna eura, odnosno ukupno iznosi 100,22 % raspoložive alokacije.

U navedenu realizaciju nije uračunata realizacija na projektima aglomeracija koje se prebacuju na financiranje iz NPOO-a, a po kojima je realizirano 99.377.873,66 eura bespovratnih sredstava.

Do kraja 2023. godine očekuje se kako će ukupna realizacija alokacije prebaciti 1,00 milijardu eura.

Tablica 6. Realizacija alokacije za PO6

PRIORITETNA OS 6	
Inicijalni iznos alokacije	1.049.340.216,00 EUR
Smanjeni iznos alokacije	849.340.216,00 EUR
Dodijeljeni iznos alokacije Prometa	100.000.000,00 EUR
Ukupni iznos nove alokacije	949.340.216,00 EUR
Realizacija s 27. listopada 2023. godine	951.381.640,22 EUR
Postotak iskorištenja nove alokacije	100,22 %

4.2. Nacionalni plan oporavka i otpornosti

4.2.1. Financijska vrijednost predviđenih ulaganja u vodno gospodarstvo

Za provedbu Programa vodnoga gospodarstva u okviru Nacionalnog Plana oporavka i otpornosti (NPOO) inicijalno je bilo dostupno je 5.250.116.802 kuna (696.810.246 eura) bespovratnih sredstava od čega je 4.061.844.731 kuna (539.099.440 eura) namijenjeno za ulaganja u vodnokomunalni sektor te 1.188.272.071 kuna (157.710.806 eura) za ulaganja u smanjenje rizika od katastrofa u sektoru upravljanja vodama.

Dana 28. lipnja 2023. Vlada Republike Hrvatske donijela je Odluku o davanju suglasnosti Ministarstvu gospodarstva i održivog razvoja za daljnju dodjelu sredstava preko raspoložive alokacije za financiranje provedbe investicijskih projekta koji se odnose na manje dijelove sustava javne vodoopskrbe i javne odvodnje otpadnih voda u okviru NPOO-a. Po potpisu Dodatka Nacionalnog plana oporavka i otpornosti 2021. - 2026. očekuje se osiguravanje dodatnih 305.000.000,00 eura, te bi u odnosu na prvobitnu odobrenu alokaciju, bespovratna sredstva namijenjena za ulaganje u vodnokomunalni sektor iznosila 844 milijuna eura.

Unaprjeđenje vodnog gospodarstva ostvarit će se kroz provedbu tri ključna ulaganja u vodno gospodarstvo:

1. C1.3. R1-I1 Program razvoja javne odvodnje otpadnih voda s ciljem unaprjeđenja kvalitete vode umanjivanjem zagađenja te smanjenjem udjela nepročišćenih otpadnih voda. Ukupni procijenjeni trošak iz NPOO-a je 558.223.415 eura, dok je ukupna investicija 756.992.123 eura bez PDV-a (iznosi prema Dodatku Nacionalnog planu oporavka i otpornosti 2021. - 2026).
2. C1.3. R1-I2 Program razvoja javne vodoopskrbe sa ciljem osiguranja pristupa sigurnoj i pristupačnoj pitkoj vodi. Ukupni procijenjeni trašak iz NPOO-a je 285.876.025 eura, dok je ukupna investicija 357.345.031 eura bez PDV-a (iznos prema Dodatku Nacionalnog planu oporavka i otpornosti 2021. - 2026).
3. C1.3. R1-I3 Program smanjivanja rizika od katastrofa u sektoru upravljanja vodama. Ukupni procijenjeni trašak iz NPOO-a je 157.710.806 eura, a što predstavlja 100 % prihvatljivih troškova investicije.

4.2.2. Programi razvoja javne odvodnje i javne vodoopskrbe

Dana 24. studenog 2021. godine, sukladno Odluci o sustavu upravljanja i praćenju provedbe aktivnosti u okviru Nacionalnog plana oporavka i otpornosti 2021. - 2026. (Narodne novine, broj 78/21) (NPOO), Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja kao tijelo državne uprave nadležno za potkomponentu NPOO-a C1.3. Unaprijeđenje vodnoga gospodarstva i gospodarenja otpadom, te reformske mjere C1.3.R1. Provedba programa vodnoga gospodarstva, objavilo je Poziv na dostavu projektnih prijedloga za financiranje provedbe već započetih investicijskih projekata koji se odnose na manje dijelove sustava javne vodoopskrbe i javne odvodnje otpadnih voda. Poziv je zatvoren po isteku krajnjega roka za podnošenje projektnih prijedloga 24. ožujka 2022. godine.

Maksimalni iznos EU bespovratnih sredstava iz NPOO koji je raspoloživ za dodjelu u okviru ovog Poziva iznosi 800.000.000,00 kuna. Indikativno, bespovratna sredstva namijenjena za ulaganja u javnu odvodnju i / ili javnu odvodnju s integriranom javnom vodoopskrbom iznose 350.000.000,00 kuna, a za ulaganja u javnu vodoopskrbu iznose 450.000.000,00 kuna.

Maksimalna stopa sufinanciranja bespovratnim sredstvima iz NPOO-a je 80 % od iznosa prihvatljivih izdataka. Preostalih 20 % iznosa prihvatljivih izdataka biti će financirano iz nacionalnih sredstava i to 10 % iz sredstava koje mora osigurati prijavitelj, odnosno korisnik (s partnerima, ukoliko ih ima) i 10 % iz sredstava Hrvatskih voda.

U okviru ovog Poziva financiraju se isključivo već započete investicije, a razdoblje prihvatljivosti izdataka (razdoblje unutar kojeg trošak mora nastati da bi bio prihvatljiv za financiranje) traje od 1. veljače 2020 do 31. prosinca 2025. Uz navedeno, svi troškovi moraju nastati i biti plaćeni u razdoblju od 1. veljače 2020. do 30. lipnja 2026. godine.

Nakon provedenog pregleda zaprimljenih prijava, provjere dostavljene dokumentacije i prihvatljivosti troškova, proveden je postupak dodjele Ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava za 73 projektne prijave.

Ugovori su dodijeljeni u četiri navrata, 16. prosinca (10 ugovora) i 23. prosinca 2021. godine (23 ugovora), te 3. veljače (15 ugovora) i 23. ožujka 2022. godine (25 ugovora) (Tablica 1).

Ukupna vrijednost 73 potpisana Ugovora po prvom pozivu iznosi 155.775.536,56 eura s PDV-om (1.173.690.780,20 kuna s PDV-om), od toga 93.814.693,40 eura (706.846.807,42 kuna) su EU bespovratna sredstva.

Dana 14. travnja 2022. godine, sukladno Odluci o sustavu upravljanja i praćenju provedbe aktivnosti u okviru Nacionalnog plana oporavka i otpornosti 2021. - 2026. (Narodne novine, broj 78/21) (NPOO), Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja kao tijelo državne uprave nadležno za pod komponentu NPOO-a C1.3. Unaprijeđenje vodnoga gospodarstva i gospodarenja otpadom, te reformske mjere C1.3.R1. Provedba programa vodnoga gospodarstva, objavilo je Poziv na dostavu projektnih prijedloga za financiranje provedbe investicijskih projekata koji se odnose na manje dijelove sustava javne vodoopskrbe i javne odvodnje otpadnih voda.

Poziv je otvoren do iskorištenja raspoloživih EU sredstava iz Mehanizma za oporavak i otpornost predviđenih za ovaj Poziv.

Maksimalni iznos EU bespovratnih sredstava iz NPOO koji je raspoloživ za dodjelu u okviru ovog Poziva inicijalno je iznosio 1.000.000.000,00 kuna (132.722.808,41 eura).

Indikativno, bespovratna sredstva namijenjena za ulaganja u javnu odvodnju i / ili javnu odvodnju s integriranom javnom vodoopskrbom uz iznosila 380.000.000,00 kuna, a za ulaganja u javnu vodoopskrbu 620.000.000,00 kuna.

Očekuje se potpisivanje Dodatka Nacionalnog plana oporavka i otpornosti 2021. - 2026. te će ukupna bespovratna sredstva po ovom Pozivu ukupno iznositi 437.722.808,41 eura (132.722.808,41 eura + 305.000.000,00 eura)

Maksimalna stopa sufinanciranja bespovratnim sredstvima iz NPOO-a je 80 % od iznosa prihvatljivih izdataka. Preostalih 20 % iznosa prihvatljivih izdataka biti će financirano iz nacionalnih sredstava i to 10 % iz sredstava koje mora osigurati prijavitelj, odnosno korisnik (s partnerima, ukoliko ih ima) i 10 % iz sredstava Hrvatskih voda.

U okviru ovog Poziva financiraju se projekti koji su u potpunosti spremni što podrazumijeva da mogu odmah krenuti sa provedbom postupaka javne nabave i ugovaranjem. Isto tako, sredstva se mogu dodijeliti i za projekte koji su već započeli s provedbom pod uvjetom da cjeloviti projekt koji se prijavljuje nije u potpunosti financijski niti fizički završen. Razdoblje prihvatljivosti izdataka (razdoblje unutar kojeg trošak mora nastati da bi bio prihvatljiv za financiranje) traje od 1. veljače 2020 do 31. prosinca 2025. Uz navedeno, svi troškovi moraju nastati i biti plaćeni u razdoblju od 1. veljače 2020. do 30. lipnja 2026. godine.

Za sada je zaprimljeno 99 projektnih prijava, od kojih je za 66 potpisan Ugovor o dodjeli bespovratnih sredstava.

Ukupna vrijednost do sad 66 potpisanih Ugovora po drugom pozivu iznosi 494.145.239,60 eura s PDV-om (3.723.137.307,76 kuna s PDV-om), od toga 314.934.140,40 eura (2.372.871.280,84 kuna) su EU bespovratna sredstva.

Dana 19. prosinca 2022. godine, sukladno Odluci o sustavu upravljanja i praćenju provedbe aktivnosti u okviru Nacionalnog plana oporavka i otpornosti 2021. - 2026. (Narodne novine, broj 78/21) (NPOO), Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja kao Tijelo državne uprave nadležno za pod komponentu NPOO-a C1.3. Unaprjeđenje vodnoga gospodarstva i gospodarenja otpadom, te reformske mjere C1.3.R1. Provedba programa vodnoga gospodarstva, objavilo je Poziv na dostavu projektnih prijedloga za financiranje provedbe investicijskih projekata koji se odnose na poboljšanje vodnokomunalne infrastrukture aglomeracija.

Sredstva će se u okviru ovog poziva dodjeljivati za 11 projekata čija je provedba započela u okviru Operativnog programa konkurentnost i kohezija 2014. - 2020. (OPKK 2014. - 2020.) međutim zbog ograničenih sredstava i zbog vremenskog okvira za provedbu projekata nije ih bilo moguće završiti u okviru OPKK 2014. - 2020., te za 2 projekta koji su inicijalno pripremljeni za financiranje iz OPKK 2014. - 2020., ali zbog ograničenih sredstava i zbog vremenskog okvira za provedbu projekata nije ih bilo moguće odobriti kroz navedeno programsko razdoblje.

Bespovratna sredstva dodjeljuju se putem ograničenog postupka, a rok za podnošenje projektnih prijedloga ističe 31. prosinca 2023. godine.

Maksimalni iznos EU bespovratnih sredstava iz NPOO koji je raspoloživ za dodjelu u okviru ovog Poziva iznosi 2.372.640.711,00 kuna (314.903.538,52 eura).

Maksimalna stopa sufinanciranja bespovratnim sredstvima iz NPOO-a je 85 % od iznosa prihvatljivih izdataka. Za projekte koji ostvaruju prihode, iznos prihvatljivih izdataka

utvrđuje se na temelju financijskog jaza izračunatog u analizi troškova i koristi za projekt, a isti ne smiju premašiti trenutnu vrijednost investicijskog troška uz odbitak trenutne vrijednosti neto prihoda od ulaganja za specifično referentno razdoblje. U takvim se slučajevima određivanje razine pomoći Zajednice temelji na stopi "financijskog jaza" projekta, odnosno udjela diskontiranog troška početnog ulaganja koje nije pokriveno diskontiranim neto prihodom projekta.

Preostali iznos prihvatljivih izdataka biti će financiran iz nacionalnih sredstava koji čine sredstva državnog proračuna te proračuna Hrvatskih voda i sredstava koje je dužan osigurati prijavitelj, a određen je temeljem indeksa razvijenosti jedinica lokalne odnosno područne (regionalne) samouprave (Odluka o razvrstavanju jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave prema stupnju razvijenosti (Narodne novine, broj 158/13) koja je bila na snazi u trenutku pripreme navedenih projekata.

Razdoblje prihvatljivosti izdataka (razdoblje unutar kojeg trošak mora nastati da bi bio prihvatljiv za financiranje) traje od 1. veljače 2020 do 31. prosinca 2025. Uz navedeno, svi troškovi moraju nastati i biti plaćeni u razdoblju od 1. veljače 2020. do 30. lipnja 2026.

Za sada je odobrena jedna projektna prijava prijavitelja Pragrande d.o.o. Pula (Vodovod Pula d.o.o. nakon 1. lipnja 2023.). Ukupna vrijednost projekta iznosi 56.837.602,56 eura, prihvatljiv trošak iznosi 45.470.082,05 eura, a bespovratna sredstva 33.188.385,53 eura. Ukupna vrijednost jednog ugovora koji je potpisan po pozivu za aglomeracije iznosi 56.837.602,56 eura s PDV-om (428.242.916,49 kuna s PDV-om), od toga 33.188.385,53 eura (250.057.890,78 kuna) su EU bespovratna sredstva.

Dana 9. prosinca 2022. godine, sukladno Odluci o sustavu upravljanja i praćenju provedbe aktivnosti u okviru Nacionalnog plana oporavka i otpornosti 2021. - 2026. (Narodne novine, broj 78/21) (NPOO), Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja kao tijelo državne uprave nadležno za pod komponentu NPOO-a C1.3. Unaprijeđenje vodnoga gospodarstva i gospodarenja otpadom, te reformske mjere C1.3.R1. Provedba programa vodnoga gospodarstva, objavilo je Poziv na dostavu projektnog prijedloga za financiranje investicije: Mjerni uređaji na vodozahvatima.

Navedenim pozivom se na 526 vodocrpilišta financira ugradnja potrebne opreme za evidenciju zahvaćenih količina vode čime će se doprinijeti načelu racionalnog korištenja voda, te ispunjenju pokazatelja #69 sukladno kojemu je iste potrebno ugraditi zaključno sa četvrtim kvartalom 2022. godine.

Poziv na dostavu projektnog prijedloga upućuje se Hrvatskim vodama (pravna osoba za upravljanje vodama) kao unaprijed određenom prijavitelju koji je utvrđen u prilogu Provedbene odluke Vijeća o odobrenju ocjene NPOO-a.

Poziv se provodi kroz postupak izravne dodjele, a krajnji rok dostave projektnog prijedloga bio je 31. prosinac 2022. godine.

Maksimalni iznos EU bespovratnih sredstava iz NPOO koji je raspoloživ za dodjelu u okviru ovog Poziva iznosi 64.000.000,00 kuna (8.494.259,74 eura).

Maksimalna stopa sufinanciranja prihvatljivih izdataka projekta bespovratnim sredstvima NPOO-a je 80 % od iznosa prihvatljivih izdataka. Preostalih 20% iznosa prihvatljivih izdataka biti će osigurano od strane Hrvatskih voda.

Ugovor o dodjeli bespovratnih sredstava potpisan je 9. ožujka 2023. godine.

Tablica 7. Dodijeljeni Ugovori o dodjeli bespovratnih sredstava za mjerne uređaje na vodozahvatima

KOD PROJEKTA	KORISNIK	VRIJEDNOST PROJEKTA		PRIHVATLJIVI TROŠAK		BESPOVRATNA SREDSTVA	
		HRK	EUR	HRK	EUR	HRK	EUR
C1.3.R1-14.03.0001	Hrvatske vode	99.991.059,09	13.271.094,18	79.992.847,27	10.616.875,34	63.994.277,82	8.493.500,27

4.2.3. Program smanjivanja rizika od katastrofa

Dana 17. prosinca 2021. godine, sukladno Odluci o sustavu upravljanja i praćenju provedbe aktivnosti u okviru Nacionalnog plana oporavka i otpornosti 2021. - 2026. (Narodne novine, br.78/21) (NPOO), Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja kao tijelo državne uprave nadležno za pod komponentu NPOO-a C1.3. Unaprijeđenje vodnoga gospodarstva i gospodarenja otpadom, te reformsku mjeru C1.3.R1. Provedba programa vodnoga gospodarstva, objavilo je Poziv na dostavu projektnih prijedloga za financiranje projekata smanjenja rizika od katastrofa u sektoru upravljanja vodama.

Bespovratna sredstva dodjeljuju se putem ograničenog postupka u modalitetu trajnog poziva, odnosno do iskorištenja raspoloživih EU sredstava iz Mehanizma za oporavak i otpornost predviđenih za ovaj poziv ili isteka krajnjeg roka za podnošenje projektnih prijedloga (31. prosinac 2023.).

Maksimalni iznos EU bespovratnih sredstava iz NPOO koji je raspoloživ za dodjelu u okviru ovog Poziva iznosi 157.710.806,42 eura (1.188.272.071,00 kuna). Program će se provesti kroz dvije programske sastavnice:

- a. Smanjenje rizika od štetnog djelovanja voda na području Hrvatske,
- b. Revitalizacija slatkovodnih sustava.

Prihvatljivi troškovi ove programske sastavnice financiraju se 100 % kroz NPOO.

Planirano je da će svim investicijama na razini Hrvatske do kraja 2030. biti obuhvaćeno oko 800.000 stanovnika. Broj stanovnika kojima će se smanjiti rizik od poplava do 2026. iznosi oko 400.000 stanovnika.

U okviru ovog poziva financiraju se provedbe projekata smanjenja rizika od katastrofa u sektoru upravljanja vodama, a razdoblje prihvatljivosti izdataka (razdoblje unutar kojeg trošak mora nastati da bi bio prihvatljiv za financiranje) traje od 1. veljače 2020 do 31. prosinca 2025. Uz navedeno, svi troškovi moraju nastati i biti plaćeni u razdoblju od 1. veljače 2020. do 30. lipnja 2026. godine.

Korisnik Hrvatske vode je prijavio 36 projekta. Nakon provedenog pregleda zaprimljenih prijave, provjere dostavljene dokumentacije i prihvatljivosti troškova, proveden je postupak dodjele Ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava za 33 projektne prijave. Za preostalu jednu projektnu prijavu u tijeku je postupak pregleda i odobrenja.

Ukupna vrijednost 33 potpisanih Ugovora po pozivu za Program smanjivanja rizika od katastrofa iznosi 153.351.565,94 eura (1.155.427.373,72 kuna s PDV-om), od toga 113.913.160,37 eura (858.278.706,71 kuna) su EU bespovratnih sredstva.

4.2.4. Rekapitulacija dosadašnjih ulaganja

Do sada su u sklopu reformske mjere C1.3. R1 Provedba programa upravljanja vodama, odobrena ukupno 174 projekta, od toga 141 u sklopu ulaganja C1.3. R1-I1 Program razvoja javne odvodnje C1.3. i ulaganja R1-I2 Program razvoja javne vodoopskrbe, a 33 u sklopu ulaganja C1.3. R1-I3 Program smanjivanja rizika od katastrofa.

Ukupna vrijednost odobrenih projekata iznosi 873.381.038,83 eura s PDV-om, od toga 564.343.879,95 eura su EU bespovratna sredstava.

U odnosu na inicijalnu alokaciju NPOO-a koja je bila 696.810.246 eura, dodijeljeno je 80,98 % bespovratnih sredstava, a u odnosu na povećanu alokaciju temeljem dodatka NPOO-a od 1.001.810.246 eura, dodijeljeno je 56,33 % bespovratnih sredstava.

Tablica 8. Ugovoreno i plaćeno po svim pozivima

POZIV	BROJ PROJEKTA	VRIJEDNOSTI PROJEKTA EUR	PRIHVATLJIV TROŠAK EUR	BESPOVRATNA SREDSTVA EUR	PLAĆENO PRIHVATLJIVI TROŠKOVI EUR	PLAĆENO BESPOVRATNA SREDSTVA EUR
ULAGANJE C1.3.R1-I1 i C1.3.R1-I2						
1.poziv	73	155.775.536,55	117.268.366,76	93.814.693,38	80057339,13	64.045.871,30
2.poziv	66	494.145.239,60	393.667.675,44	314.934.140,40	8.343.607,88	6.674.886,30
aglomeracije	1	56.837.602,56	45.470.082,05	33.188.385,53	0	0
mjerni uređaji	1	13.271.094,18	10.616.875,34	8.493.500,27	4098566,338	3.278.853,07
ULAGANJE C1.3. R1-I3						
1.poziv	33	153.351.565,94	113.913.160,37	113.913.160,37	20.281.057,46	20.281.057,46
UKUPNO	174	873.381.038,83	680.936.159,96	564.343.879,95	112.780.570,80	94.280.668,13

4.3. Saniranje šteta od potresa putem Fonda solidarnosti

U okviru Fonda solidarnosti Europske unije sljedeće kategorije troškova smatraju se prihvatljivim:

- hitno vraćanje u ispravno radno stanje infrastrukture i pogona u energetskom sektoru, na području vodoopskrbe, upravljanja otpadnim vodama, telekomunikacija, prijevoza, zdravlja i obrazovanja,
- pružanje privremenog smještaja i financiranje službi spašavanja, radi zbrinjavanja osnovnih potreba pogođenog stanovništva,
- hitno osiguravanje preventivne infrastrukture i neposredne mjere zaštite kulturnog nasljeđa,
- hitno čišćenje područja pogođenih katastrofom, uključujući prirodna područja u skladu s, kad je to primjereno, pristupima utemeljenima na ekosustavima te hitno obnavljanje pogođenih prirodnih područja kako bi se izbjegli neposredni učinci erozije tla.

Razdoblje prihvatljivosti troškova za potres koji se dogodio na dan 22. ožujka 2020. godine bilo je od 22. ožujka 2020. do 30. lipnja 2023., odnosno za seriju potresa koji su se događali počevši od 28. prosinca 2020. godine, razdoblje prihvatljivosti troškova je od 28. prosinca 2020. do 30. lipnja 2023. godine.

Za provedbu sanacije šteta od potresa u okviru Fonda solidarnosti Europske unije na

području Grada Zagreba, Krapinsko - zagorske županije, Zagrebačke županije, Sisačko - moslavačke županije, Karlovačke županije, Varaždinske županije, Međimurske županije, Brodsko - posavske županije i Bjelovarsko - bilogorske županije Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja objavilo je sljedećih 6 javnih poziva u sklopu kojih ukupan iznos bespovratnih financijskih sredstava za dodjelu iznosi 155.380.255,84 eura:

1. Javni poziv „Osiguravanje preventivne infrastrukture oštećene potresom“ - FSEU.2021.MINGOR - dodjela bespovratnih financijskih sredstava za sanaciju šteta nastalih potresom od 22. ožujka 2020. na regulacijskim i zaštitnim vodnim građevinama,
2. Javni poziv „Osiguranje preventivne infrastrukture oštećene potresom“ - FSEU.2022.MINGOR.01 - Sanacija šteta nastalih potresom od 28. i 29. prosinca 2020. godine na regulacijskim i zaštitnim vodnim građevinama na području Sisačko - moslavačke županije,
3. Javni poziv „Hitno obnavljanje pogođenih prirodnih područja kako bi se izbjegli neposredni učinci erozije tla na području grada Zagreba, Krapinsko - zagorske županije, Zagrebačke županije, Sisačko - moslavačke županije, Karlovačke županije, Varaždinske županije, Međimurske županije, Brodsko - posavske županije, Koprivničko - križevačke županije i Bjelovarsko - bilogorske županije“ - FSEU.2022.MINGOR.02,
4. Javni poziv „Vraćanje u ispravno radno stanje infrastrukture i pogona u području vodoopskrbe i upravljanja otpadnim vodama“ - FSEU.2022.MINGOR.03 - dodjela bespovratnih financijskih sredstava za sanaciju šteta nastalih potresom 28. i 29. prosinca 2020. godine na području Sisačko - moslavačke županije, Zagrebačke županije, Karlovačke županije, Krapinsko - zagorske županije i Grada Zagreba,
5. Javni poziv „Čišćenje područja pogođenih katastrofom, uključujući prirodna područja, u skladu s, kad je to primjereno, pristupima utemeljenim na ekosustavima“ - FSEU.2022.MINGOR.04 - nadoknada sredstava utrošenih radi operacija čišćenja potresom pogođenih područja, te vraćanja u ispravno radno stanje komunalne infrastrukture u kakvom su bili prije katastrofe,
6. Javni poziv „Osiguravanje preventivne infrastrukture oštećene potresom“ - FSEU.2022.MINGOR.05 - dodjela bespovratnih financijskih sredstava iz Fonda solidarnosti Europske unije za sanaciju šteta nastalih potresom od 22. ožujka 2020. na regulacijskim i zaštitnim vodnim građevinama na području Grada Zagreba, Krapinsko - zagorske županije i Zagrebačke županije.

Sumarno je kroz 5 javnih poziva kod kojih je Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja nadležno tijelo odgovorno za provedbu financijskog doprinosa iz Fonda solidarnosti potpisano 83 Ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava ukupne vrijednosti 144.516.893,97 eura.

Tablica 9. Rekapitulacija po pozivima zaključno s 19. listopada 2023. godine

REKAPITULACIJA				
OZNAKA POZIVA	UKUPNO UGOVORENO UODBS (EUR)	UKUPNO POTRAŽIVANO (EUR)	UKUPNO ODOBRENO (EUR)	UKUPNO PLAĆENO IZVOĐAČIMA / IZVRŠITELJIMA (EUR)
FSEU.2021.MINGOR	4.450.409,83 EUR	4.419.668,28 EUR	4.419.668,28 EUR	4.419.668,28 EUR
FSEU.2022.MINGOR.01	29.968.022,04 EUR	28.229.320,85 EUR	26.157.518,81 EUR	28.229.320,85 EUR
FSEU.2022.MINGOR.02	45.216.200,84 EUR	40.631.757,52 EUR	28.737.864,63 EUR	41.560.139,69 EUR
FSEU.2022.MINGOR.03	57.385.789,78 EUR	53.722.721,36 EUR	41.641.581,48 EUR	48.754.942,90 EUR
FSEU.2022.MINGOR.05	7.496.471,48 EUR	7.235.120,15 EUR	7.235.120,15 EUR	7.235.120,15 EUR
SVEUKUPNO:	144.516.893,97 EUR	134.238.588,16 EUR	108.191.753,35 EUR	130.199.191,87 EUR

Ukupna vrijednost potpisanih Ugovora iznosi 144.516.893,97 eura, koliko iznose i EU bespovratna sredstva (intenzitet potpore u sklopu Fonda solidarnosti iznosi 100 %).

Zaključno s 19. listopada 2023. godine po navedenim ugovorima od strane Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja kao nadležnog tijela odgovornog za provedbu financijskog doprinosa iz Fonda solidarnosti je odobreno 108.191.753,35 eura prihvatljivih troškova, odnosno bespovratnih sredstava.

Zaključno s 19. listopada 2023. godine po navedenim ugovorima od strane Korisnika isplaćeno je izvođačima, dobavljačima i pružateljima usluga 130.199.191,87 eura.

Napomena za razdoblje nakon 30. lipnja 2023. godine:

FSEU.2022.MINGOR.01: od ukupno potraživanih sredstva 1.567.507,35 eura se odnosi na sredstva koja terete državni proračun (aktivnosti nakon 30. lipnja 2023.).

FSEU.2022.MINGOR.02: od ukupno potraživanih sredstva 2.173.149,92 eura se odnosi na sredstva koja terete državni proračun (aktivnosti nakon 30. lipnja 2023.).

FSEU.2022.MINGOR.03: od ukupno potraživanih sredstva 4.184.072,46 eura se odnosi na sredstva koja terete državni proračun (aktivnosti nakon 30. lipnja 2023.).

5. PRIPREMA I PROVEDBA EU PROJEKATA ZAŠTITE OD ŠTETNOG DJELOVANJA VODA

U okviru Operativnog programa Konkurentnost i kohezija 2014. - 2020., prioritetne osi 5, Specifičnog cilja 5b1 - Jačanje sustava upravljanja katastrofama za projekte smanjenja rizika od poplava, Hrvatske vode u ulozi Korisnika provode pet ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava ukupne vrijednosti 183.669.636,77 eura od čega je vrijednost bespovratnih sredstava 156.119.191,24 eura (sredstva Europskog fonda za regionalni razvoj, EFRR). Navedeni projekti opisani su u nastavnim potpoglavljima.

5.1. Priprema studijske dokumentacije za projekte upravljanja rizicima od poplava

Projekt ima ukupnu vrijednost 5.056.656,05 eura od čega vrijednost bespovratnih sredstava iznosi 4.298.157,64 eura. Kroz ovaj projekt obrađeno je na studijsko - projektnoj razini 15 slivnih područja za koja je procijenjeno da su pod najvećim rizikom od poplava. Bitno je za naglasiti da je dokumentacija pripremljena u okviru ovog projekta bila podloga za prijavu niže navedenih projekata:

- Izrada studijske dokumentacije za EU projekt modernizacije lijevoobalnih savskih naspa od Račinovaca do Nove Gradiške - Projekt „Modernizacija lijevoobalnih savskih nasipa od Račinovaca do Nove Gradiške“
- Izrada studijske dokumentacije za pripremu projekata zaštite od poplava na slivu Kupe iz EU fondova - „Projekt zaštite od poplava grada Ogulina“
- Projekt unaprjeđenja negrađevinskih mjera upravljanja rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj - „Projekt unaprjeđenja negrađevinskih mjera upravljanja rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj - VEPAR“
- Izrada studijske dokumentacije za pripremu projekata zaštite od poplava na slivu Kupe iz EU fondova - Projekt „Sustav zaštite od poplava karlovačko - sisačkog područja, I. Faza - karlovačko područje“

5.2. Modernizacija lijevoobalnih savskih nasipa od Račinovaca do Nove Gradiške

Nakon katastrofalne poplave koja je 2014. godine pogodila područje Vukovarsko - srijemske i Brodsko - posavske županije pristupilo se hitnoj sanaciji poplavljenog područja te sanaciji i učvršćivanju linije nasipa. Provedba mjera obrane od poplava ukazala je na potrebu uspostave i ojačanja nizvodne strane nasipa dogradnjom berme i pristupnog puta. Od ukupno analiziranih 236,7 km nasipa, od granice s Republikom Srbijom do Nove Gradiške, studijskom dokumentacijom opravdali su se radovi ojačanja nasipa na dužini od 172,5 km. Obzirom na nemogućnost pravovremenog rješavanja imovinsko - pravnih odnosa na dionici uz uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Slavonskom Brodu (2,1 km), ukupna duljina ojačanja koja se realizira kroz ovaj projekt iznosi 170,4 km. Imovinsko - pravni odnosi na predmetnoj čestici riješeni su naknadno te će realizacija ove kratke dionice biti predmet nacionalnog financiranja. Dodatna vrijednost ovog projekta su potpuna riješenost imovinsko - pravnih odnosa i legalnost cjelokupnog savskog nasipa od Račinovaca do Nove Gradiške. Riješene su 1.204 katastarske čestice od kojih su nakon njihovog rješavanja fomirane građevinske čestice koje su podloga za uporabnu dozvolu, u dužini koja je predmet projekta.

Na projektu Modernizacije lijevoobalnih savskih nasipa od Račinovaca do Nove Gradiške ishođene su sve potrebne lokacijske (18) i građevinske dozvole (20). Do sada je ishođeno 15 uporabnih dozvola, dok je za tri dionice je podnesen zahtjev za tehnički pregled. Na preostale dvije dionice (Lužani - Pričac i Svilaj - Bicko Selo) još se izvode radovi na ukupnoj duljini od 15,9 km.

Ukupna vrijednost projekta je 49.073.465,41 eura (369.744.025,15 kuna), a vrijednost bespovratnih sredstava iznosi 41.712.445,60 eura. Zaključno s 27. listopada 2023. godine, ukupno je povučeno 36.591.839,65 eura bespovratnih sredstava (87,72 %).

5.3. Projekt zaštite od poplava Grada Ogulina

Podloga za prijavu Projekta zaštite od poplava Grada Ogulina proizašla je iz studijske dokumentacije za pripremu projekata zaštite od poplava na slivu Kupe a povod su bili učestali poplavni događaji nastali uslijed velikih voda rijeke Gornje Dobre. Postojeći sustav odvodnje voda Gornje Dobre sastojao se u korištenju dijela vode za rad HE Gojak, te u poniranju viškova vode u Đulin ponor - ulaz u špiljski sustav Đula - Medvedica. Navedeni sustav nije nudio dovoljan stupanj sigurnosti urbanog područja grada. Ovim projektom će se povećati stupanj sigurnosti grada Ogulina od poplavnih događaja te smanjiti potencijalne godišnje prosječne štete od poplava sa 13,6 milijuna eura na 4,6 milijuna eura. Izgradnja retencije Ogulin kao jedne od aktivnosti Projekta zaštite od poplava Grada Ogulina predviđena je kroz 4 faze izgradnje:

- Faza 1 - radovi na pregradnom mjestu retencije,
- Faza 2 - izgradnja zaštitnih građevine željezničke pruge uz retencijski prostor,
- Faza 3 - izgradnja zaštitnog objekta ribnjaka na rijeci Vitunjčici,
- Faza 4 - izgradnja brane retencije s pripadajućim objektima.

Radovi na objektima faze 1 i 3 su završeni a trenutno su aktivna dva ugovora o izvođenju radova:

- Izgradnja brane retencije Ogulin duljine, u kruni brane, 577,50 metara i širine krune brane od 5,00 metara, ukupne visine 16,00 m. Brana je nasutog tipa s centralnom glinenom jezgrom šticeenom filtarskim slojevima te kamenim potpornim zonama koje osiguravaju stabilnost tijela brane.
- Izgradnja zaštitnih građevina željezničke pruge koja obuhvaća zaštitu željezničke pruge u duljini od 1.654,00 metara betonskim platnom, kamenim oblogama i AB zidom te izgradnju novog podvožnjaka na poziciji postojećeg, odvodnju zaobalnih voda (cijevni propusti sa žabljim poklopcima, crpne stanice) i zaštitu i izmještanje postojeće opreme HŽ Infrastrukture. Bitno je za naglasiti da će se cijelo vrijeme trajanja radova osigurati neometano odvijanje željezničkog prometa na pruzi Zagreb - Rijeka uz kraće obustave prometa.

U sklopu projekta imovinsko - pravni odnosi su rješavani na 799 čestica u 3 katastarske općine te je temeljem tih postupaka riješeno 97 % čestica te 10 - tak stambenih objekata. Također u sklopu istog projekta rješavani su imovinsko - pravni odnosi na izmještanju dalekovoda (96 čestica), izmještanju vodovoda (103 čestice), te oko 90 % čestica u postupku ishođenja građevinskih dozvola za izmještanje ceste, izmještanje HT infrastrukture i drugo, a sve u cilju ishođenja uporabne dozvole za cijeli projekt.

Od ukupne vrijednosti prihvatljivih troškova projekta koji iznosi 24.711.962,44 eura (186.192.281,00 kuna), bespovratna EU sredstva iznose 21.005.168,07 eura (158.263.438,85 kuna).

Zaključno s 27. listopada 2023. ukupno je ugovoreno radova i usluga u vrijednosti 23.450.525,65 eura s PDV-om. Temeljem zahtjeva za nadoknadom sredstava povučeno je 11.173.506,28 eura EU sredstava (53,19 %).

5.4. Projekt unaprjeđenja negrađevinskih mjera upravljanja rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj - VEPAR (Yodno ekološko praćenje, analize i rješenja)

Planom upravljanja rizicima od poplava (PURP) koji je sastavni dio planova upravljanja vodnim područjima identificirane su aktivnosti koje je potrebno provesti da bi se postigao strateški cilj - smanjenje rizika od poplava u Republici Hrvatskoj na prihvatljivu razinu. Provedba aktivnosti planirana je kroz tri grupe projekata:

1. Projekti za implementaciju ključnih negrađevinskih mjera - Dugoročni program provedbe negrađevinskih mjera,
2. Projekti kojima će se povećati sigurnost postojeće infrastrukture za obranu od poplava,
3. Projekti kojima će se na razini riječnih podslivova implementirati optimalne građevinske mjere za preventivno upravljanje rizicima od poplava (u kombinaciji s mjerama za prirodno zadržavanje vode i negrađevinskim mjerama).

Projekt unaprjeđenja negrađevinskih mjera upravljanja rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj - VEPAR predstavlja 1. fazu Dugoročnog programa provedbe negrađevinskih mjera, koje treba provesti do 2023. godine. Korisnik projekta su Hrvatske vode, a Državni hidrometeorološki zavod je projektni partner. Podloga za prijavu i provedbu Projekta osigurana je izradom studijske dokumentacije.

Provedba projekta VEPAR doprinijet će se razvoju i nadogradnji mjera smanjenja rizika od poplava; postići će se unaprjeđenje u praćenju, analizama i iznalaženju optimalnih rješenja za integralno i održivo upravljanje vodama, vodnim okolišem i rizicima od poplava; osigurat će se i sistematizirati nedostajući podaci vezani uz slivove, vodotoke te regulacijske i zaštitne vodne građevine; modernizirat će se i dograditi mreža hidroloških mjernih postaja; poboljšat će se prognostički modeli; izradit će se i poboljšati studije upravljanja rizicima od poplava; nabavit će se potrebna oprema za provedbu mjera opreme od poplava, provesti mjere promidžbe i vidljivosti te educirati i informirati javnost.

Projekt VEPAR se provodi kroz 11 elemenata / potprojekata:

1. Potprojekt A - Prikupljanje i analiza podataka za upravljanje rizicima od poplava - Batimetrijsko snimanje sliva Save (3.265 km), slivova Drave i Dunava (1.720 km), Jadranskog sliva (950 km); izradu Hidroloških studija za sliv Save, Drave i Dunava i Jadranski sliv; izradu smjernica za izradu budućih hidroloških studija te izradu Hidrološkog atlasa Republike Hrvatske,
2. Potprojekt B - Unaprjeđenje studijskih i modelskih osnova za upravljanje rizicima od poplava - optimalnije rješenje te davanje prioriteta mjerama zelene infrastrukture kada je riječ o planiranju mjera ublažavanja rizika od poplava kroz izradu studija mogućnosti primjene zeleno - infrastrukturnih mjera; studija upravljanja rizicima od poplava mora te studija upravljanja rizicima u minski sumnjivim područjima,
3. Potprojekt C - Unaprjeđenje sustava za prognoziranje poplava - nabavu dvije faze prognostičkog sustava na slivu Save, prognostičkog sustava za slivove Drave i Dunava te slivove Jadranskog mora, kao i dva informacijska sustava za hidrološko prognoziranje,
4. Potprojekt D - Unaprjeđenje sustava za hidrološko praćenje površinskih voda - aktivnostima potprojekta D modernizirati će se i dograditi hidrološke mreže za praćenje

površinskih voda, zajedno s unaprjeđenjem vodnogospodarskog informacijskog sustava,

5. Potprojekt E - Unaprjeđenje sustava za praćenje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina (RiZVG) - kroz provedbu ovog potprojekta izvršit će se preliminarna kategorizacija na nasipima na vodama 1. reda (1.717 km), izraditi registar RiZVG, smjernice o praćenju i održavanju RiZVG, provesti pilot projekt „pametnog nasipa” s ugradnjom opreme za praćenje stanja nasipa u stvarnom vremenu te uspostaviti nadzorno - upravljački sustav na značajnim kontrolabilnim RiZVG,
6. Potprojekt F - Nabava opreme za obranu od poplava,
7. Potprojekt G - Unaprjeđenje sustava za informiranje javnosti i educiranje dionika,
8. Potprojekt H - Unaprjeđenje centara za upravljanje rizicima od poplava - provedbom potprojekta H izrađena je projektna dokumentacija Centralnog objekta za upravljanje rizicima od poplava (COURP) i analiza potreba za unaprjeđenjem smještajnih i skladišnih kapaciteta na regionalnoj i lokalnoj razini.

Elementi projekta 9, 10 i 11 odnose se na provedbu aktivnosti promidžbe i vidljivosti, vanjske usluge upravljanje projektom te analizu svih provedenih aktivnosti 1. faze i izradu programa radova za projekt VEPAR II.

Ukupna prihvatljiva vrijednost projekta je 33.194.046,72 eura od čega bespovratna sredstva Europskog fonda za regionalni razvoj iznose 28.214.939,71 eura, odnosno 85 % od ukupno prihvatljive vrijednosti projekta.

Svih 11 elemenata / potprojekata projekta VEPAR se provode kroz 69 ugovora, osiguranih putem postupaka javne nabave. Svi postupci nabave su završeni i potpisani su svi ugovori. Od 53 sklopljenih ugovora njih 41 je već izvršeno u cijelosti, dok je 24 još uvijek u provedbi.

Svi potprojekti, elementi su u visokoj fazi izvršenosti. Na nekoliko ugovora postoji određeno kašnjenje i za očekivati je da oko 5 milijuna eura neće biti realizirano do kraja 2023 godine. Završetak svih aktivnosti očekuje se okvirno do sredine 2024 godine.

5.5. Sustav zaštite od poplava karlovačko - sisačkog područja - 1. faza - karlovačko područje

Projekt je dio strateškog projekta „Sustav zaštite od poplava karlovačko - sisačkog područja“ ukupne vrijednosti oko 223 milijuna eura (1,68 milijardi kuna) od čega bespovratna sredstva iznose 189,9 milijuna eura (1,43 milijarde kuna). Projekt je pripremljen i odobriti će se kao cjelina, no podijeljen je u dvije faze na temelju spremnosti mjera za provedbu i kao takav provoditi će se kroz dva programska razdoblja. Druga faza ovog projekta, odnosno završetak karlovačkog dijela i sisački dio, prijaviti će se u novi Program konkurentnost i kohezija 2021. - 2027.

Odluka o financiranju projekta „Sustav zaštite od poplava karlovačko - sisačkog područja, 1. faza - karlovačko područje“ - KK.05.2.1.13.0001. iz fondova Europske unije donesena je 27. prosinca 2021. godine, kada je i potpisan Ugovor o dodjeli bespovratnih sredstava za projekt „Sustav zaštite od poplava karlovačko - sisačkog područja, 1. faza - karlovačko područje“. Ukupni prihvatljivi troškovi projekta iznose 539.722.652,07 kuna (458.764.254,25 kuna bespovratnih troškova). Zaključno s 27. listopadom 2023.

povučeno je bespovratnih sredstava u iznosu od 19.639.937,25 eura.

Projektne aktivnosti obuhvaćaju rekonstrukciju postojećih i izgradnju novih regulacijsko-distribucijskih objekata, čime će se omogućiti korištenje punog potencijala retencijskih prostora (Kupčina i Odransko polje). Na temelju optimalnog korištenja uzvodnih mjera i novih uvjeta distribucije količina voda u sustavu, potrebna je dogradnja/rekonstrukcija 131,8 km (60,7 %) dionica obrambene linije.

Projektom „Sustav zaštite od poplava karlovačko - sisačkog područja“ predviđena je gradnja i / ili rekonstrukcija sljedećih zaštitnih i regulacijskih vodnih građevina:

- gradnja 102,2 km nasipa,
- rekonstrukcija 41,1 km nasipa i uklanjanje 10 km lijevoobalnog nasipa na kanalu Kupa - Kupa,
- gradnja 16,2 km AB zaštitnih zidova,
- gradnja 9,4 km obaloutvrda,
- gradnja prokopa Korana - Kupa,
- gradnja pregrade Brodarci,
- gradnja četiri ustave (dvije na prokopu Korana, na kanalu Kupa - Kupa (Šišljavić) i na sustavu unutarnje odvodnje Selce / Rečica),
- gradnja pet (5) crpnih stanica,
- gradnja oko 27 km kanala unutarnje odvodnje,
- povećanje zapremine retencijskog područja Kupčina.

Provedba projekta trenutno se odvija na 10 od ukupno 26 aktivnosti, a četiri (4) aktivnosti su dovršene. Odobreni projekt se provodi kroz 28 sekundarnih ugovora (13 radovi i 15 usluge), od kojih je ugovoreno 6 ugovora za izvođenje radova i 8 ugovora za usluge (uz usluge stručnog nadzora i usluge tehničke pomoći i usluge promidžbe i vidljivosti).

Dovršeni su radovi na Mjeri 2 - Nasipi uz Koranu i Mrežnicu uzvodno od ušća za zaštitu naselja Mala Švarča, Logorište i Turanjski Poloj (sveukupno gradnja 5.734 metara nasipa (desnoobalni nasip uz Koranu u dužini 935,10 m, desnoobalni nasip uz Koranu u dužini 2319,53 m, desnoobalni nasip uz Mrežnicu u dužini 2085,36 m i nasip uz državnu cestu D1 u dužini 395,94 m), Mjeri 4 - Nasipi uz Koranu i Mrežnicu vezani uz izgradnju brze ceste kroz Karlovac (nasipi uz Koranu i Mrežnicu u dužini oko 3365 m i regulacija potoka Sajevec u dužini 2.995 m).

U tijeku je izgradnja 7,6 km nasipa, 4 km AB zida i 3,9 km obaloutvrde na lijevoj obali Kupe od naselja Selce do naselja Rečica, a u 2024. godini se planira početak radova na mjeri 3 - prokopu Korana - Kupa (s pratećim nasipima i ustavama) te izgradnja desnoobalnog nasipa od Brodaraca do Karlovačke pivovare.

Do sada je riješeno 7.826 od ukupno 10.229 imovinsko pravnih odnosa na parcelama u obuhvatu zahvata odobrenog projekta.

6. MJERNI UREĐAJI NA VODOZAHVATIMA

U Republici Hrvatskoj volumetrijski model prikupljanja podataka o količinama vode isporučenim putem sustava javne vodoopskrbe je univerzalan, kako u odnosu na poslovne korisnike, tako i u odnosu na kućanstva. Količine isporučene vode mjere se na

glavnim vodomjerima koji su zadnja točka u sustavu javne vodoopskrbe prije internih sustava korisnika.

Međutim, mjerenje količine zahvaćene vode na vodozahvatima javne vodoopskrbe (iz tijela površinskih i podzemnih voda) nije dovoljno rasprostranjeno. Na dijelu vodozahvata ne postoji mjerna oprema, ili je nestandardna ili nefunkcionalna, ali nigdje nije telemetrijski povezana s Hrvatskim vodama - nadležnom institucijom za upravljanje vodama. U tom smislu informacijski sustav voda u Hrvatskim vodama koji prati bilancu voda, se oslanja na podatke koje mu, sukladno postojećoj podzakonskoj regulativi, dostavljaju javni isporučitelji vodnih usluga. Ti podaci su često nepouzdana, podložni naknadnim izmjenama i zakašnjeli u realnom vremenu.

Republika Hrvatska je donošenjem Uredbe o izmjenama i dopunama Uredbe o visini naknade za korištenje voda (Narodne novine, broj 32/20) poduzela odlučne korake u cilju postizanja učinkovitog korištenja voda za potrebe javne vodoopskrbe na način da se uspostavi novi model obračuna naplate naknade za korištenje voda u javnoj vodoopskrbi i to na zahvaćene količine vode.

Kako bi se moglo prijeći na obračun naknade za korištenje voda na zahvaćene količine vode, potrebno je na svim vodozahvatima javne vodoopskrbe uspostaviti mjerenje zahvaćenih količina vode. Iz tog razloga je Uredbom propisana obveza Hrvatskih voda da na svim izvorima podzemnih voda i površinskim vodozahvatima ugrade vodomjere koje će koristiti isporučitelji vodnih usluga. U vezi s tim, sukladno Uredbi, Hrvatske vode su tijekom studenog 2020. godine donijele Akcijski plan ugradnje, upravljanja i održavanja mjernih uređaja na vodozahvatima javne vodoopskrbe te evidentiranja, prikupljanja, obrade i kontrole podataka o zahvaćenim količinama vode. Prema tom planu će se na 656 izvorišta/vodozahvata javne vodoopskrbe ugraditi nova mjerna oprema ili nadograditi i poboljšati postojeća, kako bi se digitalnim putem u realnom vremenu mogli prikupljati, evidentirati, obraditi i kontrolirati podaci o zahvaćenim količinama vode koje se zahvaćaju za potrebe javne vodoopskrbe.

Javni poziv za sudjelovanje u projektu Hrvatske vode poslale su svim javnim isporučiteljima vodnih usluga početkom 2021. godine.

Predmetni radovi se sufinanciraju sredstvima EU iz programa Nacionalnog plana oporavka i otpornosti 2021. - 2026., Reformska mjera C1.3.R1 Provedba programa vodnoga gospodarstva, mjera C1.3. R1-I2: Program razvoja javne vodoopskrbe. Provedba ovog programa rezultirat će poboljšanjem upravljanja vodama i očuvanjem vodnih resursa što će povećati njihovu otpornost na utjecaje klimatskih promjena te će na minimalno 526 vodocrpilišta biti ugrađena potrebna oprema za evidenciju zahvaćenih količina vode čime će se doprinijeti načelu racionalnog korištenja voda.

Tijekom travnja i svibnja 2022. godine proveden je postupak javne nabave, te je potpisan Ugovor o uslugama izrade Centralne platforme za prikupljanje, obradu, prezentaciju i kontrolu podataka o zahvaćenim količinama vode. Centralna platforma je izrađena i u produkciji, te se nalazi na informacijsko - komunikacijskoj infrastrukturi Hrvatskih voda, te prikuplja podatke u realnom vremenu.

Hrvatske vode, kao komisioni naručitelj, prema Nacionalnom planu oporavka i otpornosti 2021. - 2026. (NPOO) provele su predmetni postupak nabave za ugradnju mjernih uređaja na vodozahvatima na području Hrvatske u ime i za račun javnih isporučitelja

vodnih usluga (JIVU) na čijem se području (vodozahvatu) mjerni uređaj ugrađuje.

Ukupno je predviđena instalacija 656 novih mjerača protoka preko kojih se mjeri 728 zahvat što je bio predmet ove nabave i koji su radovi podijeljeni u 6 grupa nabave prema obuhvatu nadležnosti pojedinih vodnogospodarskih odjela (VGO) Hrvatskih voda.

Ugovori o radovima sa izvođačima potpisani su u prosincu 2022. godine, a radovi su počeli u siječnju 2023. godine i završiti će do kraja 2023. godine.

Ukupna vrijednost projekta iznosi 13.271.094,18 eura, dok je EU sufinanciranje 8.493.500,27 eura.

Ciljevi projekta su:

- Uspostaviti univerzalno mjerenje zahvaćenih količina vode na svim vodozahvatima u Republici Hrvatskoj,
- omogućiti stalnu dostupnost podataka o mjerenjima u realnom vremenu Hrvatskim vodama putem sustava telemetrije,
- osigurati primjenu istih standarda za mjernu opremu i opremu za prijenos izmjerenih podataka.

Provedbom Projekta postići će se sljedeći rezultati:

- očuvanje vodnih resursa sa ciljem povećanja otpornosti na klimatske promjene,
- poboljšanje upravljanja vodama,
- racionalnije korištenje voda.

Tijekom provođenja ovog programa posebna pozornost će se posvetiti projekcijama utjecaja klimatskih promjena na dostupnost vode i vodnocomunalne sustave, te poboljšanju otpornosti vodnih resursa i vodnocomunalnih sustava na klimatske promjene. Kroz ova ulaganja to će se postići mjerenjem i praćenjem zahvaćene vode na vodozahvatima, te osiguravanjem sigurne opskrbe vodom s niskom razinom propuštanja.

7. PROGRAM SMANJENJA GUBITAKA VODE U JAVNIM VODOOPSKRBNIM SUSTAVIMA

Gubici vode u javnim vodoopskrbnim sustavima u Republici Hrvatskoj iznose oko 50 %, te predstavljaju veliki problem kako u financijskom, tako i u tehničko - tehnološkom pogledu. Uzroci generiranja gubitaka su brojni, a najznačajniji među njima su: nepostojanje stručnih timova za rješavanje problema unutar javnih isporučitelja vodnih usluga, starost sustava javne vodoopskrbe, neracionalno visoki tlakovi u mreži, neprovođenje sanacija puknuća, loša tehnička opremljenost isporučitelja i slično.

Financiranje programa smanjenja gubitaka u javnim sustavima vodoopskrbe u Republici Hrvatskoj i pripadajućih projekata predstavlja prioritet kako bi se smanjio pritisak na vodna tijela i omogućilo dugoročno uspostavljanje održivog upravljanja vodoopskrbnim sustavima.

Slijedom navedenog Hrvatske vode i Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja provode od 2018. godine Program smanjenja gubitaka u javnim vodoopskrbnim sustavima u Republici Hrvatskoj.

Ciljevi programa su:

- smanjenje neprihodovane vode sa 50 % na 25 %,
- dovođenje pojedinačno svih isporučitelja vodnih usluga na primjereno tehničko - tehnološku razinu uz proces okrupnjavanja u sklopu uslužnih područja,
- jediničnu vrijednost gubitaka unutar sustava smanjiti sa prosječnih 0,4 na 0,2 m³/h/km,
- povrat investicije u roku 10 godina.

Tehničke mjere i aktivnostina kojima se temelji Program smanjenja gubitaka su:

- kvalitetno upravljanje sustavom,
- izrada tehničke dokumentacije,
- kontrola tlaka u sustavu,
- aktivna kontrola curenja i brza sanacija,
- rekonstrukcija vodoopskrbne mreže u svrhu smanjenja gubitaka.

Realizacija Programa se planira tijekom 10 godina, a ukupna vrijednost investicije se procjenjuje na oko 240 milijuna eura.

Hrvatske vode su sklopile preko 70 okvirnih sporazuma s javnim isporučiteljima vodnih usluga te su u periodu od 2018. do 2022. godine sufinancirale projekte iz Programa smanjenja gubitaka s ukupno 353.650.000,00 kuna (46.930.000,00 eura) vlastitih sredstava.

8. SUSTAVI JAVNE ODVODNJE I PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA

8.1. Pregled najznačajnijih ulaganja

Obvezu osiguranja pružanja usluga odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda na području Republike Hrvatske imaju javni isporučitelji vodnih usluga, kako je definirano Zakonom o vodnim uslugama (Narodne novine, broj 66/19), a Hrvatske vode putem godišnjih Planova upravljanja vodama sudjeluju u provedbi projekata izgradnje sustava javne odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda. Tako je u razdoblju od 2018. - 2022. godine, u takve sustave ukupno uloženo nešto više od 1,25 milijardi eura. Najznačajnija grupa ulaganja odnosila se na pripremu i realizaciju EU projekata putem bespovratnih sredstava dodijeljenih iz EU fondova. Na taj način je od 2018. - 2022. godine u izgradnju mreže i uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, kao i za pripremu studijske i natječajne dokumentacije uloženo oko 1,1 milijarde eura. Pored EU bespovratnih sredstava, u nedostajućem dijelu projekti su sufinancirani iz državnog proračuna i proračuna Hrvatskih voda te lokalne komponente od strane isporučitelja vodnih usluga. Putem investicija koje su se provodile iz redovnog programa Hrvatskih voda u sustave javne odvodnje i pročišćavanja u promatranom periodu uloženo je oko 125 milijuna eura, odnosno oko 150 milijuna eura uključujući i lokalnu komponentu sufinanciranja od strane isporučitelja vodnih usluga. Dodatno pored navedenog, kroz projekte iz Švicarsko - hrvatskog programa suradnje koji se odnose na unaprjeđenje vodoopskrbne infrastrukture, ali i odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda na nekoliko odabranih lokacija u Gorskom kotaru, čija implementacija ovisi o konačnom odobrenju projektne dokumentacije, u razdoblju od 2018. - 2022. godine dodijeljeno je oko 24 milijuna eura. U okviru projekata izgradnje vodnokomunalnih građevina u naseljima s manje od 2.000 stanovnika koje provode isporučitelji vodnih

usluga sufinanciranih iz fonda ruralnog razvoja, u promatranom razdoblju od 2018. - 2022. godine ukupno je uloženo oko 3 milijuna eura.

U sklopu Mehanizma za oporavak i otpornost te posljedično i Nacionalnog plana oporavka i otpornosti, Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja tijekom 2021. godine objavilo je "Poziv na dostavu projektnih prijedloga za financiranje provedbe već započetih investicijskih projekata koji se odnose na manje dijelove sustava javne vodoopskrbe i javne odvodnje otpadnih voda u okviru Nacionalnog plana oporavka i otpornosti 2021. - 2026.", a nakon ispunjenja financijske alokacije tijekom 2022. objavljen je i drugi poziv s istim zacrtanim ciljevima. Po oba poziva potpisano je ukupno 139 Ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava i pripadajući Ugovori o sufinanciranju, čime su dodijeljena bespovratna sredstva od preko 400 milijuna eura, od čega se otprilike 220 milijuna eura odnosi na projekte iz programa razvoja sustava javne odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda kojima su obuhvaćene sve investicije koje su realizirane tijekom 2020. i 2021. godine te investicije koje se trebaju realizirati u razdoblju od 2022. do 2026. godine. U 2023. godini nastavljaju se aktivnosti na dodjeli sredstava iz Nacionalnog plana oporavka i otpornosti.

8.2. Stanje provedbe Direktive o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda do 31. prosinca 2020. godine

Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEZ) utvrđuje obveze prikupljanja i pročišćavanja otpadnih voda u aglomeracijama opterećenja većeg od 2.000 ES. Razina pročišćavanja i učinak rada uređaja za pročišćavanje trebaju odgovarati zahtjevima koji proizlaze iz osjetljivosti prijamnog područja i veličine aglomeracije.

Opći zahtjev Direktive je sekundarno pročišćavanje, ali u područjima osjetljivima na utjecaj hranjivih tvari, odnosno spojeva dušika i fosfora, zbog moguće pojave eutrofikacije i degradacije vodnog okoliša, za aglomeracije čije je ukupno opterećenje veće od 10.000 ES i koje ispuštaju otpadne vode u takva osjetljiva područja, propisuje i obvezu pročišćavanja komunalnih otpadnih voda naprednijim postupcima kojima se iz otpadne vode uklanjaju i hranjive tvari, odnosno trećim stupnjem pročišćavanja. Pri ispuštanju otpadnih voda iz aglomeracija ukupnog opterećenja manjeg od 10.000 ES u priobalne vode i ispuštanju iz aglomeracija opterećenja manjeg od 2.000 ES, moguća je i primjena odgovarajućeg pročišćavanja, uz uvjet da se time ne ugrožava ispunjenje ciljeva zaštite voda.

Ugovorom o pristupanju Europskoj uniji, Hrvatska se obvezala na provedbu Direktive najkasnije do kraja 2023. godine, uz dva prijelazna razdoblja - 2018. i 2020. godinu - za prve dvije prioritetne skupine aglomeracija. Ispunjenje odredaba Direktive i postizanje ciljeva zaštite voda, Europska komisija provjerava redovnim izvješćima država članica. U procesu izvješćivanja Hrvatska sudjeluje od 2014. godine, a posljednji ciklus je proveden 2022., kada se izvješćivalo o stanju provedbe do 31. prosinca 2020. godine. Izvor svih podataka su javni isporučitelji vodnih usluga koji sustavima upravljaju, a prikupljanje i obradu podataka provode Hrvatske vode.

Preduvjet za ispunjenje zahtjeva za pročišćavanjem otpadnih voda aglomeracije je maksimalno prikupljanje otpadnih voda sustavima javne odvodnje, uz mogućnost primjene odgovarajućih individualnih sustava. Europska komisija ocjenjuje da je neka aglomer-

acija potpuno sukladna ako je prikupljeno ≥ 98 % opterećenja aglomeracije te ako je ≥ 99 % prikupljenog opterećenja pročišćeno uz postizanje učinka minimalno zahtijevanog stupnja pročišćavanja. U zadnjem objavljenom europskom izvješću, kojim se prikazuje stanje provedbe Direktive u svim državama članicama Unije na dan 31. prosinca 2018. godine, utvrđeno je da je Hrvatska imala 7 % adekvatno prikupljenog i pročišćenog opterećenja (radi se o opterećenju od 255.360 ES, u pet aglomeracija). Kako je 2018. godine isteklo prvo prijelazno razdoblje za primjenu Direktive, u ocjenu je tada bilo uključeno 58 aglomeracija prve prioritetne skupine, odnosno 22 % od ukupnog broja aglomeracija opterećenja većeg od 2.000 ES.

Nakon prošlogodišnjeg ciklusa izvješćivanja, a zbog isteka oba prijelazna razdoblja, očekuje se ocjena sukladnosti sa zahtjevima Direktive za ukupno 74 aglomeracije iz prve i druge prioritetne skupine. Sukladnost se očekuje u podjednakim okvirima, odnosno očekivana ocjena potpune sukladnosti je za 5 aglomeracija. Temeljem podataka prikupljenih od JIVU-a za 2020. godinu, zaključuje se da je stopa priključenosti stanovništva na sustave javne odvodnje i pročišćavanja u svim promatranim aglomeracijama (njih 245 sa opterećenjem > 2.000 ES) iznosila oko 70 %, odnosno ako promatramo u ukupnom broju stanovnika države, stopa priključenosti stanovništva je porasla sa 55 % na 57 % u posljednje dvije godine. Preostalo stanovništvo svoje otpadne vode prikuplja različitim vrstama individualnih sustava, najčešće su to septičke jame.

Tablica 10. daje kratki pregled ključnih podataka o aglomeracijama na dan 31. prosinca 2020. godine.

Tijekom 2024. godine biti će aktualan novi europski izvještajni ciklus u kojem će se izvješćivati o stanju provedbe do 31. prosinca 2022. godine.

8.3. Ulaganja u razvojne projekte sustava javne odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda u idućem razdoblju

Osim informacija o stanju provedbe Direktive, Europskoj komisiji redovno se upućuju i izvještaji o nacionalnom programu provedbe Direktive u idućem razdoblju, prema istoj dvogodišnjoj dinamici. Kako su, uslijed poteškoća u realizaciji ranije planirane dinamike aktivnosti brojni projekti prolongirani, tijekom izvještajnog ciklusa provedenog 2022. godine, iskazani očekivani krajnji rokovi za postizanje sukladnosti dodatno su pomaknuti do kraja 2030. za prvu i drugu prioritetnu skupinu, odnosno do kraja 2032. godine za treću skupinu aglomeracija. Navedeni očekivani krajnji rok predstavlja produljenje inicijalno utvrđenog roka za dodatnih devet godina.

U narednom razdoblju, planirana ulaganja u izgradnju i stavljanje u funkciju građevina odvodnje i pročišćavanja očekuju se do iznosa od 2,1 milijarde eura za sustave javne odvodnje i 0,9 milijardi eura za uređaje za pročišćavanje, uz planirani ukupni udio sufinanciranja iz kohezijskog fonda EU i / ili drugih europskih izvora financiranja na razini Republike Hrvatske od 64 %.

Republiku Hrvatsku na području gradnje sustava javne odvodnje i pročišćavanja očekuje veliki ciklus ulaganja. Kako bi se dostigli standardi utvrđeni Direktivom o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda, bit će potrebno unaprijediti organizacijsku razinu, uključivo reformu vodnokomunalnog sektora koja je u tijeku, uz pažljivo balansiranje tehničko - administrativnih aspekata, kako na razini dostupnih ljudskih resursa, tako i na finan-

cijskoj razini, uzimajući u obzir razne poremećaje na tržištu unatrag nekoliko godina zbog kojih je došlo do značajnih povećanja cijena, što dovodi u pitanje raspoložive izvore sufinanciranja vodnocomunalnih projekata. Uz očekivanu reviziju Direktive kojom se znatno postrožuju ciljevi zaštite okoliša u cjelini koje svaka država članica EU mora ispuniti, kratke rokove ispunjenja te preraspodjelu prioriteta u sufinanciranju uz održavanje priuštive cijene vodnocomunalnih usluga krajnjim korisnicima, projicirani iznosi ulaganja zasigurno će biti mnogo veći. Nakon provedbi reformi, predstoji izrada detaljnih planskih dokumenata na cjelokupnom području nadležnosti, odnosno na razini novouspostavljenih uslužnih područja, s definiranjem pripadnih financijskih elemenata kojima će se osigurati potrebna sredstva za izgradnju vodnocomunalne infrastrukture. Kao dodatni neophodni element u kreiranju provedivog financijskog okvira, potrebno je ponovno razmatranje i redefiniranje nacionalne politike sufinanciranja razvoja sustava odvodnje i pročišćavanja, što će u najvećoj mjeri ovisiti o visini bespovratnih sredstava iz EU izvora, te raspoloživim mogućnostima iz drugih bespovratnih sredstava, kako iz državnog proračuna, tako i od strane Hrvatskih voda, pri čemu je posebno bitno osigurati zadržavanje svih pripadnih troškova ispod, odnosno u razini maksimalne prihvatljive razine udjela u raspoloživim prihodima kućanstava kako se ne bi ugrozile ostale životne potrebe.

Tablica 10. Prikupljanje i pročišćavanje komunalnih otpadnih voda za aglomeracije opterećenja većeg od 2.000 ES, sa stanjem na dan 31. prosinca 2020. (12. europski izvještajni ciklus, proveden 2022.)

Aglomeracije - prioritetne skupine prema prijelaznim razdobljima	Ukupno opterećenje prikupljeno kolektorskim sustavom (bez individualnih sustava), udio u ukupnom opterećenju				UPOV - ugrađenost			UPOV - učinkovitost rada (usklađenost sa zahtijevanim stupnjem pročišćavanja)						
	SJO - priključenost ukupnog opterećenja >80%		SJO - priključenost ukupnog opterećenja 80-90%		u skladu sa zahtijevanim	nije u skladu sa zahtijevanim, potrebna nadogradnja/izgradnja	u skladu sa zahtijevanim	ES	nije u skladu sa zahtijevanim	broj aglomeracija				
	opterećenje prikupljeno sustavom javne odvodnje	broj aglomeracija	opterećenje prikupljeno sustavom javne odvodnje	broj aglomeracija	broj aglomeracija	aglomeracije s UPOV-om nedovoljnog stupnja	broj aglomeracija	ukupno opterećenje ES	broj aglomeracija					
Ukupno opterećenje aglomeracija (ES)	broj aglomeracija	opterećenje prikupljeno sustavom javne odvodnje	broj aglomeracija	opterećenje prikupljeno sustavom javne odvodnje	broj aglomeracija	aglomeracije s UPOV-om nedovoljnog stupnja	broj aglomeracija	ukupno opterećenje ES	broj aglomeracija					
2018	55	3.375.413	12	1.200.638	36%	14	513.166	15%	8	35	12	7	309.988	36
2020	19	387.138	1	14.624	4%	3	54.934	14%	2	9	8	1	11.996	10
2023*	171	893.890	24	149.954	17%	10	40.939	5%	35*	26*	110*	22*	72.881*	39*
UKUPNO > 2.000 ES	245	4.656.441	37	1.365.216	29%	27	609.039	13%	10	70	20	8	321.984	46

* za aglomeracije su još na snazi prijelazna razdoblja, podaci su informativni i nisu pre-dmet obveznog utvrđivanja sukladnosti sa zahtjevima Direktive

ZAKLJUČAK

Uz tradicionalno dobru provedbu aktivnih obrana od poplava, Hrvatske vode su tijekom posljednjih desetak godina stekle i velika iskustva u pripremi i provedbi različitih vodnogospodarskih projekata koji se sufinanciraju sredstvima iz europskih fondova, što je razvidno iz uzlaznog trenda iznosa realizacije godišnjih Planova upravljanja vodama.

Dostignutu razinu realizacije projekata treba i nadalje postupno povećavati kako bi što prije dostigli europske standarde u vodnokomunalnim djelatnostima što smo dužni prema zahtjevima Europske unije i kako bi primjereno odgovarali na izazove sve intenzivnijih hidroloških ekstrema - poplava i suša. Da bi se to postiglo nužno je sustavno jačati stručne kapacitete, ne samo Hrvatskih voda nego i svih drugih sudionika u vodnogospodarskom sektoru.

LITERATURA

- [1] *Zakon o vodama* (Narodne novine, br. 66/19, 84/21 i 47/23).
- [2] *Zakon o vodnim uslugama* (Narodne novine, broj 66/19).
- [3] *Zakon o financiranju vodnog gospodarstva* (Narodne novine, br. 153/09, 90/11, 56/13, 154/14, 119/15, 120/16, 127/17 i 66/19).
- [4] *Strategija upravljanja vodama* (Narodne novine, broj 91/08).
- [5] *Plan upravljanja vodnim područjima do 2027.* (Narodne novine, broj 84/23).
- [6] *Višegodišnji program gradnje komunalnih vodnih građevina za razdoblje do 2030. godine* (Narodne novine, broj 147/21).
- [7] *Nacrt Višegodišnjeg programa gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije*, NACRT VIŠEGODIŠNJEG PROGRAMA GRADNJE REGULACIJSKIH I ZAŠTITNIH VODNIH GRAĐEVINA I GRAĐEVINA ZA MELIORACIJE - LISTOPAD 2022 .pdf (voda.hr), 30. listopada 2023.
- [8] *Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama* (Vlada Republike Hrvatske, 2005.), Sveučilište u Zagrebu :: Agronomski fakultet (voda.hr), 30. listopada 2023.
- [9] *Godišnji Planovi upravljanja vodama*, Plan upravljanja vodama | Hrvatske vode, 30. listopada 2023.

AUTOR

mr. sc. Zoran Đuroković ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000, Zagreb, Hrvatska,
zoran.durokovic@voda.hr



P.03.

PLAN UPRAVLJANJA VODNIM PODRUČJIMA DO 2027.

Sanja Barbalić, Danko Biondić

SAŽETAK: Vlada Republike Hrvatske je nakon provedenih postupaka konzultiranja i informiranja javnosti i strateške procjene utjecaja na okoliš 28. lipnja 2023. godine donijela Odluku o donošenju Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. (Narodne novine, broj 84/23), temeljnog planskog dokumenta upravljanja vodama tijekom sljedećih nekoliko godina. Nacrt dokumenta su izradile Hrvatske vode.

Dokument se sastoji od dvije komponente upravljanja vodnim područjima: upravljanje stanjem voda i upravljanje rizicima od poplava. Upravljanje stanjem voda sadrži novelirani pregled stanja voda, pregled sustava praćenja stanja voda i program mjera za upravljanje stanjem voda na vodnim područjima u planskom razdoblju 2022. - 2027. godine, koje su usmjerene na dostizanje ciljeva zaštite voda. Upravljanje rizicima od poplava sadrži zaključke Prethodne procjene rizika od poplava, prikaz karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava, ciljeve za upravljanje rizicima od poplava te program mjera za ostvarenje tih ciljeva, uključujući preventivne mjere, zaštitu, pripravnost, prognozi-ranje poplava i sustave za obavještanje i upozoravanje, s ciljem smanjenja mogućih štetnih posljedica poplava na ljudsko zdravlje i sigurnost, na vrijedna dobra i imovinu te na vodni i kopneni okoliš.

Unaprjeđenja Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. u odnosu na prethodni Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. su značajno povećanje podatkovne osnovice uslijed proširenja opsega monitoringa stanja voda te provedena interkalibracija klasifikacijskih sustava površinskih kopnenih, prijelaznih i priobalnih voda koja je kroz suradnju hrvatskih biologa s recenzentima, određenim od strane Europske komisije, dovršena potkraj 2021. godine. Svoj doprinos kvaliteti ovog multidisciplinarnog dokumenta također su dali hidrolozi, hidrotehničari, hidrogeolozi, kemičari, agronomi i oceanografi.

Hrvatske vode su 4. kolovoza 2023. godine završile složeni postupak izvješćivanja podataka i informacija iz dokumenta u Europski informacijski sustav voda (WISE), kao osma od dvadesetsedam država članica. Time su stvoreni preduvjeti da Europska komisija napravi procjenu dokumenta koja će rezultirati preporukama za daljnji rad na vodnogospodarskom planiranju, odnosno na pripremi Plana upravljanja vodnim područjima i Plana upravljanja rizicima od poplava za sljedeći planski ciklus 2028. - 2033.

KLJUČNE RIJEČI: Plan upravljanja vodnim područjima do 2027., Upravljanje stanjem voda, Upravljanje rizicima od poplava, Europski informacijski sustav voda WISE

RIVER BASIN MANAGEMENT PLAN UNTIL 2027

ABSTRACT: On June 28, 2023, the Government of the Republic of Croatia, after conducting consultation and public information procedures, as well as strategic environmental assessment, adopted the Decision on the adoption of the River Basin Management Plan until 2027 (Official Gazette, 84/23), the fundamental water management planning document for the following several years. The draft document was prepared by Hrvatske vode. The document comprises of two river basin district management components: water status management and flood risk management. The management of water status contains an updated overview of the water status, an overview of the system for water status monitoring, and a programme of measures for water status managing in river basin districts for the 2022 - 2027 planning period, which are aimed at achieving the water protection objectives. Flood risk management contains the conclusions of the preliminary flood risk assessment, the presentation of flood hazard maps and flood risk maps, the objectives of flood risk management and a programme of measures to achieve these objectives, including preventive measures, protection, preparedness, flood forecasting and notification and warning systems, all aimed at reducing potential harmful consequences of floods on human health and safety, on valuable goods and property, and on the aquatic and terrestrial environment.

The improvements of the River Basin Management Plan until 2027 with respect the previous River Basin Management Plan 2016 - 2021 are the following: a significantly increased database due to a scope expansion of water status monitoring, and the conducted intercalibration of classification systems for terrestrial surface waters, transitional waters and coastal waters, which was completed at the end of 2021 through the cooperation of Croatian biologists with reviewers appointed by the European Commission. Hydrologists, hydro-technicians, hydrogeologists, chemists, agronomists and oceanographers contributed to the quality of this multidisciplinary document as well.

On August 4, 2023, Hrvatske vode completed a complex procedure of reporting data and information from the document to the Water Information System for Europe (WISE) as the eighth of the twenty-seven member states. This created the prerequisites for the European Commission to assess the document, which will result in recommendations for further work on water management planning, i.e. on the preparation of the River Basin Management Plan and Flood Risk Management Plan for the next planning cycle of 2028 - 2033.

KEYWORDS: River Basin Management Plan until 2027, Water status management, Flood risk management, Water Information System for Europe (WISE)

1. UVOD

Plan upravljanja vodnim područjima do 2027. (Plan) koji se odnosi na razdoblje 2022. do 2027. godine je stupio na snagu danom donošenja 28. lipnja 2023. a objavljen je u Narodnim novinama, broj 84/23¹. Dokument je novela drugog Plana upravljanja vodnim

1 Plan upravljanja vodnim područjima (2022. - 2027.) izrađen je na temelju Zakona o vodama (Narodne novine, br. 66/19, 84/21 i 47/23) kojima su propisani: Planski dokumenti upravljanja vodama (članak 37.), Plan upravljanja vodnim područjima (članak 39.) i Plan upravljanja rizicima od poplava (članak 127.).

područjima 2016. 2021.². Prema sadržaju ova dva Plana su slična, no međutim po opsegu, obuhvatu i detaljnosti se bitno razlikuju. Nastavno na dosadašnju praksu u pripremi Plana sudjelovao je niz stručnih i akademskih institucija kojima se ovim putem zahvaljujemo. Republika Hrvatska je o prihvaćanju Plana izvjestila i Europsku komisiju te je kao osma zemlja članica izvršila obvezu detaljnog izvješćivanja dostavljajući sve podatke u informacijski sustav WISE. Prihvaćanjem podataka potvrđeno je da je Plan cjelovit, logičan i dosljedan. Predstoje mu još dvije revizije: kontrola i usporedba s ostalim zemljama članicama (koju obavljaju odabrani konzultanti) i ocjena usklađenosti s vodnim zakonodavstvom i EU politikama u upravljanju vodama koji obavlja Europska komisija.

Nacrt Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. su izradile Hrvatske vode u suradnji s mnogim znanstvenim i stručnim institucijama i specijaliziranim tvrtkama koje su pripremale stručne podloge, polazeći od Plana upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021., strateških odrednica iz Strategije upravljanja vodama, te rezultata rada stručnih skupina u okviru Zajedničke provedbene strategije Okvirne direktive o vodama Europske unije (Common Implementation Strategy - CIS).

Intenzivne aktivnosti na pripremi Nacrta Plana upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027. započele su u I. kvartalu 2019. godine, kada su prema odredbi članka 45. Zakona o vodama Hrvatske vode na svojoj mrežnoj stranici na poveznici https://voda.hr/sites/default/files/2022-05/program_rada_plana_2022.-2027.pdf objavile Program rada Plana upravljanja vodnim područjima i Plana upravljanja rizicima od poplava 2022. - 2027.

Međukorak u pripremi komponente I. Upravljanje stanjem voda također prema odredbi članka 45. Zakona o vodama bila je izrada dokumenta „Pregled značajnih vodnogospodarskih pitanja“ i njegova objava na mrežnoj stranici Hrvatskih voda u listopadu 2020. godine na poveznici https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/upravljanje-vodama/privremeni_pregled_znacajnih_vodnogospodarskih_pitanja_-_2019.pdf. Dokument je sastavni dio Plana upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027., a njegov sadržaj propisan je člankom 5. Pravilnika o načinu konzultiranja i informiranja javnosti o nacrtu Strategije upravljanja vodama i Plana upravljanja vodnim područjima (Narodne novine, broj 48/14) tako da obuhvaća: cilj i pravni temelj donošenja Privremenog pregleda, pregled postojećih informacija, sažetak značajnih pitanja upravljanja vodama, te sažeti pregled mogućih mjera sistematiziranih prema institucijama i tijelima nadležnim za njihovu provedbu.

Međukoraci u pripremi komponente II. Upravljanje rizicima od poplava bili su izrada dokumenta „Prethodna procjena rizika od poplava“ prema odredbama članka 124. i 125. Zakona o vodama i njegova objava na mrežnoj stranici Hrvatskih voda na poveznici <https://www.voda.hr/hr/prethodna-procjena-rizika-od-poplava-2018> u srpnju 2019. godine, te izrada karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava za područja s prethodno procijenjenim značajnim rizicima od poplava prema odredbama članka 126. Zakona o vodama i njihova objava na mrežnoj stranici Hrvatskih voda na poveznici <https://voda.hr/hr/karte-opasnosti-od-poplava-i-karte-rizika-od-poplava-2019> u veljači 2021. godine. Programi građevinskih mjera Plana upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027.

2 kojeg je Vlada Republike Hrvatske donijela 6. lipnja 2016. za plansko razdoblje od 2016. do 2021. godine „Narodne novine“, broj 66/16.

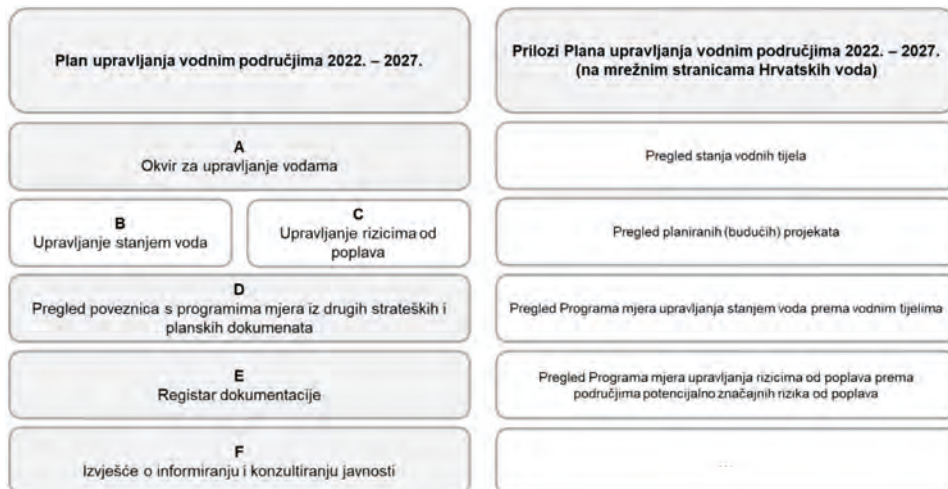
utvrđeni su Višegodišnjim programom gradnje komunalnih vodnih građevina za razdoblje do 2030. godine (Narodne novine, broj 147/21) donesenim od strane Vlade Republike Hrvatske nakon provedene strateške procjene utjecaja na okoliš i konzultacija sa zainteresiranom javnošću i s Europskom komisijom, te Nacrtom Višegodišnjeg programa gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije 2021. - 2030. za kojeg se trenutno provodi strateška procjena utjecaja na okoliš (<https://voda.hr/hr/visegodisnji-programi-gradnje>). Višegodišnji programi gradnje propisani člankom 43. Zakona o vodama kroz investicijske mjere objedinjuju obveze iz brojnih direktiva Europske unije, naročito Direktive o procjeni i upravljanju rizicima od poplava, Direktive o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju i Direktive o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda. Programima su utvrđeni pojedinačni projekti, način i razdoblje njihove provedbe, sudionici u provedbi, iznosi ulaganja i izvori sredstava, red prvenstva u provedbi, te praćenje provedbe. Daljnja studijska i projektna razrada vodnih sustava i građevina te priprema odgovarajuće dokumentacije za negrađevinske mjere nužan su preduvjet za prijavu takvih projekata za sufinanciranje od strane europskih fondova.

Konzultiranje i informiranje javnosti u pripremu Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. sukladno zahtjevima Okvirne direktive o vodama provedeno je prema odredbama Zakona o vodama i Pravilnika o načinu konzultiranja i informiranja javnosti o nacrtu Strategije upravljanja vodama i Plana upravljanja vodnim područjima.

Stratešku procjenu utjecaja na okoliš sukladno odredbama Zakona o zaštiti okoliša i Uredbe o strateškoj procjeni utjecaja strategije, plana i programa na okoliš, uključujući i postupak glavne ocjene prihvatljivosti programa za ekološku mrežu sukladno Zakonu o zaštiti prirode, provelo je resorno Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja.

2. O PLANU

Struktura plana je nešto drugačija nego što je bila ranije, tako da sada Plan uz uobičajena poglavlja od A - F sadrži i Priloge Planu upravljanja vodnim područjima do 2027. koji se mogu naći isključivo na mrežnim stranicama Hrvatskih voda ([Detaljni prikaz informacija iz Plana upravljanja vodnim područjima 2022.-2027. | Hrvatske vode \(voda.hr\)](#) (Slika 1).



Slika 1. Struktura dokumenta

Naime, sadržaj Plana (po broju informacija i detaljnosti razrade) je višestruko nadmašio prethodni tako da ga nije bilo moguće sistematizirati u obliku jedinstvenog i pri tome i preglednog dokumenta te se moralo iznaći „hibridno“ rješenje (dokument i prateći PDF formati). Riječ je o vrlo opsežnim prikazima koji na razini vodnih tijela daju rezultate: analize stanja i analize rizika nepostizanja okolišnih ciljeva, odstupanja od okolišnih ciljeva, detaljan popis okolišnih ciljeva za sve tipove voda, sažetak informacija o upravljanju rizicima od poplava dostavljene EIONET-u. Na taj način omogućen je brži pristup određenim informacijama iz Plana primjereniji sve intenzivnijem korištenju Plana u svakodnevnoj praksi.

Uz navedeno, posebno se treba naglasiti da je po prvi put objavljen Registar projekata koji je napravljen sukladno preporukama Europske komisije i koji, osim informativne naravi, ima i obvezujući karakter. Naime, u okolišnim postupcima potrebno se osvrnuti i na kumulativni utjecaj zahvata i mogućih „budućih“ zahvata. Pri tome je dogovoreno da se kao mogući budući zahvati uzimaju u obzir samo oni koji imaju utjecaj na stanje voda i koji su prošli okolišne postupke, odnosno za koja su nadležna tijela izdala odgovarajuća rješenja / mišljenja. Registar projekata je organiziran na dva načina:

1. prema zahvatu za koji su identificirana vodna tijela na koja zahvat može imati utjecaja te
2. prema vodnom tijelu za koji se daje popis projekata koji mogu imati utjecaj na vodno tijelo.

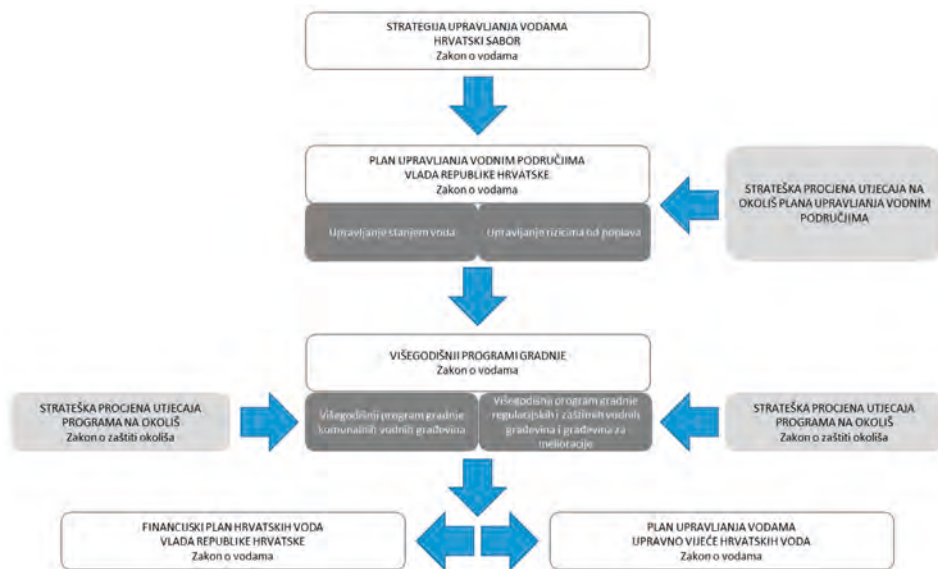
Očekuje se da će u tehničkoj dokumentaciji (studija / elaborat) u analizi kumulativnih utjecaja biti uzeti u obzir najmanje oni projekti koji su navedeni u Registru projekata. Budući da se još uvijek radi na popuni Registra treba naglasiti s kojim datumom je registar korišten. Uz Registar vodnih tijela iz kojih se izvadci dobijaju putem zahtjeva za pristup informacijama i kojeg, upravo zbog opsega nije moguće objaviti niti u PDF formatu, riječ je o iznimno velikom fondusu podataka čije je korištenje ušlo u redovnu, gotovo dnevnu, praksu planiranja, projektiranja, izvođenja zahvata te provođenja različitih

vodnih aktivnosti³.

Plan uključuje dva ključna programska elementa:

- Višegodišnji program gradnje komunalnih vodnih građevina za razdoblje do 2030. godine (Narodne novine, broj 147/21) i
- Višegodišnji program gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije za razdoblje do 2030. godine - Nacrt, koji je u postupku strateške procjene utjecaja na okoliš.

Oba programa su rađena paralelno s Planom i za njih je proveden ili se provodi postupak strateške procjene utjecaja na okoliš tako da su programima predviđene aktivnosti (projekti) i očekivani rezultati provedbe ovih programa razmatrani u samom Planu. S obzirom na takav vremenski raspored pripreme i donošenja dokumenata ostvaren je značajan korak u uspostavi participativnog pristupa u pripremi Plana za najvažniju grupu korisnika voda stanovništvo i njihove potrebe vezane uz javnu vodoopskrbu, javnu odvodnju⁴ i obranu od poplava, odnosno smanjivanje rizika od poplava.



Slika 2. Planski dokumenti upravljanja vodama

3 Zakon o vodama Čl. 4 stavak (1) točka 101.: vodne aktivnosti su sve aktivnosti kojima se za kućanstva, javnopravne osobe ili gospodarske subjekte osigurava:

- zahvaćanje, akumuliranje, skladištenje, pročišćavanje i distribucija površinskih ili podzemnih voda i
- prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda koje se zatim ispuštaju u vode.

Vodne aktivnosti uključuju, ali nisu ograničene na vodne usluge

4 prikupljanje i pročišćavanje komunalnih otpadnih voda

Planom su obuhvaćene sve „kategorije“ voda:

- kopnene površinske vode: tekućice (rijeke), stajaćice (jezera),
- prijelazne i priobalne vode te teritorijalno more,
- umjetna i znatno promijenjena vodna tijela,
- kopnene podzemne vode: podzemne vode osim geotermalnih i mineralnih voda (hladne podzemne vode) i po prvi put geotermalne i mineralne vode.

U Planu su usporedno napravljene analize svih vodnih tijela i grupa izdvojenih vodnih tijela za koja postoji obveza izvješćivanja. Obveza izvješćivanja se odnosi na vodna tijela tekućica sa slivnom površinom većom od 10 km² i vodna tijela stajaćica s površinom većom od 0,5 km², što uključuje i međunarodna vodna tijela bez obzira na njihovu površinu, te sva vodna tijela priobalnih, prijelaznih voda i teritorijalnog mora. Od ukupnog broja vodnih tijela:

- stajaćica obveza izvješćivanja se odnosi na njih samo 20 % što čini oko 93 % ukupne površine stajaćica,
- tekućica obveza izvješćivanja se odnosi na njih nešto više od 40 % što čini oko 85 % ukupne dužine,
- samo nešto više od 3 % vodnih tijela su međunarodna vodna tijela što čini oko nešto više od 4 % ukupne dužine vodotoka ili oko 10 % dužine vodotoka za koje postoji obveza izvješćivanja.

3. INTEGRACIJA UPRAVLJANJA STANJEM VODA I UPRAVLJANJA RIZICIMA OD POPLAVA

Prema Zakona o vodama Plan upravljanja rizicima od poplava integriran je sa Planom upravljanja vodnim područjima u jedan dokument. Radi toga osim Poglavlja C. Upravljanje rizicima od poplava, sastavni dio Plana upravljanja rizicima od poplava čine i zajednička poglavlja (Poglavlje A. Okvir za upravljanje vodama, Poglavlje D. Registar dokumentacije i Poglavlje E. Izvješće o informiranju i konzultiranju javnosti). Time je također ostvaren okvir koji je omogućio bolju integraciju aktivnosti i mjera upravljanja stanjem voda (Poglavlje B.) i upravljanja rizicima od poplava (Poglavlje C.). Naime, time je u jedinstvenom dokumentu naglašena koordinacija između Okvirne direktive o vodama i Direktiva o procjeni i upravljanju rizicima od poplava koja se redovito provodi na svim nivoima upravljanja stanjem voda i upravljanja rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj. Tako je primjerice:

- Na zakonodavnoj razini, obje direktive transponirane u jedinstveni Zakon o vodama i prateće podzakonske akte.
- Institucionalni sustav upravljanja je jedinstven jer su iste institucije nadležne za upravljanje rizicima od poplava i upravljanje stanjem voda te sudjeluju u provedbi i drugih direktiva u dijelu značajnom za upravljanje vodama i upravljanje rizicima od poplava (u daljem tekstu upravljanje vodama).
- Puna sinergija upravljanja vodama omogućena je na način da su usklađene jedinice upravljanja, te se u upravljanju rizicima od poplava preuzete one koje su definirane Okvirnom direktivom o vodama (vodna područja).

- Na planskoj razini, plan upravljanja vodnim područjima i plan upravljanja rizicima od poplava su objedinjeni u jedinstveni dokument formiran tako da su horizontalne teme kao što su opis značajki jedinica upravljanja, klimatske promjene, smješteni u zajedničko poglavlje radi konzistentnosti, izbjegavanja redundancije i bolje koordinacije. Velike koristi su ostvarene korištenjem istih podloga za potrebe oba plana (informacije o stanovništvu, hidrografiji, hidrologiji, korištenju zemljišta, zaštićenim područjima, klimatskim promjenama, industrijskim pogonima i slično).
- S obzirom da je riječ o jedinstvenom dokumentu, u postupku njegovog donošenja provode se zajedničke konzultacije s javnošću i provodi se zajednička strateška procjena utjecaja na okoliš programa mjera i to kako onih vezanih uz upravljanje stanjem voda prema zahtjevima Okvirne direktive o vodama, tako i onih za upravljanje rizicima od poplava prema zahtjevima Direktive o procjeni i upravljanju rizicima od poplava.
- Naglašava se da se redovito ishode uvjeti zaštite prirode za četverogodišnje Programe održavanja vodotoka.
- Svi podaci iz Plana upravljanja vodnim područjem koji uključuje i Plan upravljanja rizicima od poplava nalaze se u jedinstvenom sustavu, tako da se informacije za pojedine korisnike izdaju integrirano i na istoj „adresi“ i po jedinstvenom postupku što značajno ubrzava postupak i skraćuje vrijeme potrebno da se dobije određena informacija.

Logičan nastavak tako čvrsto uspostavljene integracije upravljanje rizicima od poplava s upravljanjem stanjem voda je i priprema projekata kojima se:

- promovira zelena - infrastruktura kroz 2 projekta:
 - “Mogućnosti šire implementacije mjera zelene infrastrukture u smanjenju rizika od poplava” s obukom stručnjaka i dionika i informiranjem javnosti (pri završetku),
 - “Smjernice za tehničko projektiranje i procjenu socioekonomske izvedivosti mjera zelene infrastrukture u smanjenju rizika od poplava” s obukom stručnjaka i dionika i informiranjem javnosti (<https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/PUVP3%20-%20URP%20-%200010.pdf>),
- daje prijedlog kriterija za izmjene ciljeva okoliša,
- predlažu „područja za prihvati i tečenje velikih voda“ u okviru EU inicijative vratiti prostor rijekama (Green Deal).

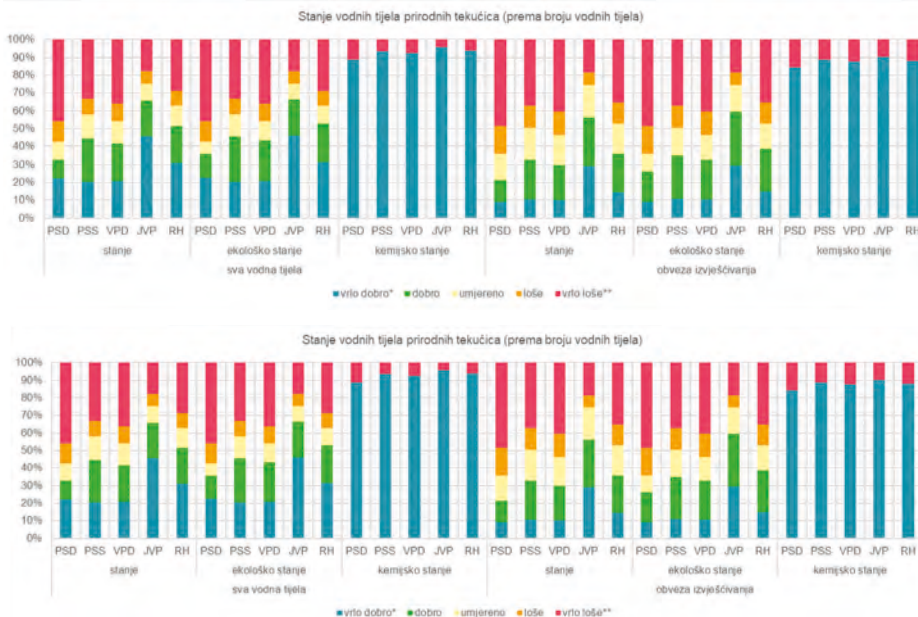
Također, razmatraju se mogućnosti provedbe još nekih projekata koji bi između ostalog trebali imati za cilj i unaprjeđenje koordinacije aktivnosti na upravljanju stanjem voda i upravljanju rizicima od poplava. To su naročito:

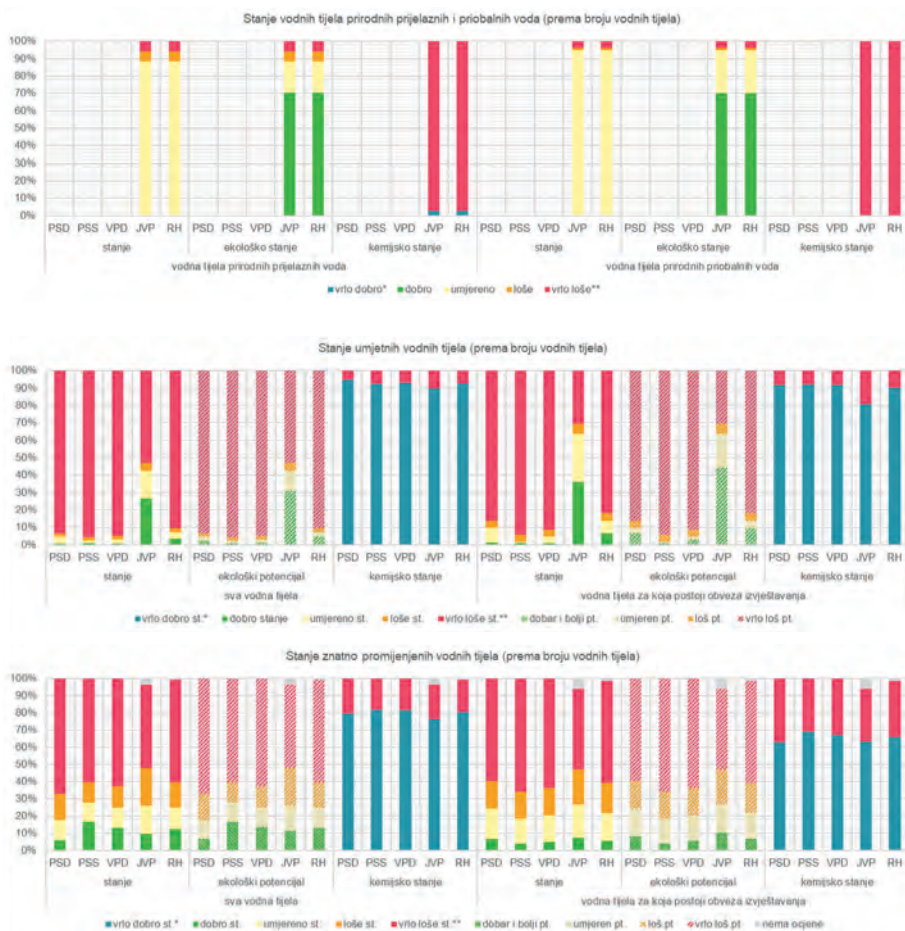
- izrada metodologije za procjenu negativnih utjecaja poplava na ekološko stanje voda,
- unaprjeđenje postojeće ili izrada nove metodologije za ocjenu hidromorfološkog stanja voda,
- izrada komunikacijske strategije i drugo.

4. UPRAVLJANJE STANJEM VODA

Zahvaljujući svojem položaju i relativno dobroj očuvanosti ekosustava, Republika Hrvatska se odlikuje velikom vrijednošću biološke raznolikosti i brojnim endemičnim vrstama što se odražava i na bogatstvo kopnenih i vodenih ekotipova. Kako bi se na odgovarajući način ocijenilo stanje površinskih voda u suradnji s Prirodoslovno - matematičkim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu razvijen je složeni tipološki klasifikacijski sustav površinskih voda. Najvećim dijelom tipološki klasifikacijski sustavi su tijekom 2021. i 2022. godine usklađeni sa sličnim sustavima u drugim europskim zemljama i čine zajedničku osnovu za ocjenjivanje stanja voda.

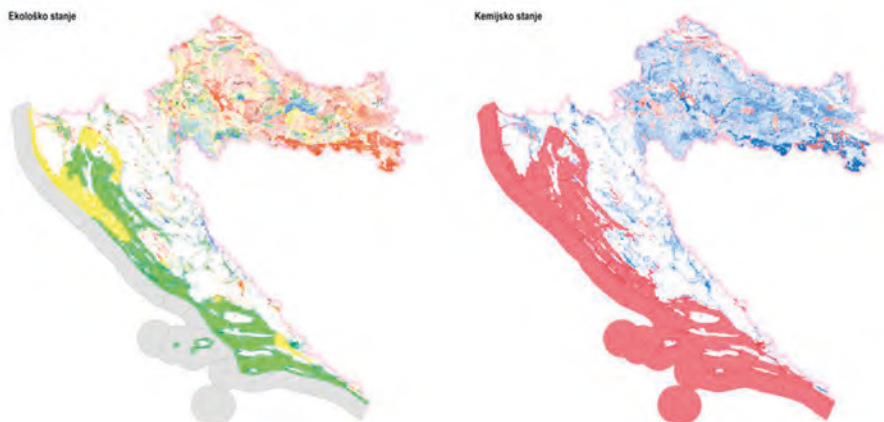
Za ocjenu stanja površinskih voda koristi se metodologija propisana Uredbom o standardu kakvoće voda (Narodne novine, br. 96/19, 20/23 i 50/23). U Planu se ocjenjuje stanje / potencijal vodnih tijela pri čemu se koriste rezultati monitoringa površinskih voda. Pri tome se napominje da rezultati monitoringa reflektiraju stanje voda u točki, odnosno na lokaciji mjesta uzimanja uzoraka. Kako bi se dobila procjena stanja vodnog tijela korišten je model analize opterećenja i utjecaja (IMPRES) uzimajući u obzir rezultate monitoringa (Uredba o kakvoći voda, Prilog 11). Stanje / potencijal vodnih tijela je ocijenjeno prema tipu, a na osnovi ukupno oko stotinjak različitih pokazatelja od kojih se najveći broj odnosi na ocjenu kemijskog stanja. Zbog opsega dokumenta u Planu su priloženi samo sumarni grafički pregledi (stanje / potencijal, ekološko stanje / ekološki potencijal i kemijsko stanje).





Slika 3. Stanje površinskih voda

Prostorno promatrajući stanje površinskih voda je najnepovoljnije na području istočne Hrvatske (Slavonije) s režimom tečenja karakterističnim za spore ravničarske rijeke osjetljive na porast temperature i produžena sušna razdoblja.



Slika 4. Kartografski prikazi ekološkog i kemijskog stanja površinskih voda

Stanja / potencijali vodnih tijela po svakom pojedinačnom pokazatelju su objavljeni na mrežnim stranicama Hrvatskih voda (<https://www.voda.hr/hr/detaljni-prikaz-informacija-iz-plana-upravljanja-vodnim-podrucjima-2022-2027>).

Ocjena stanja podzemnih voda, ukazuje na najvećim dijelom dobro količinko i kemijsko stanje „hladnih“ podzemnih voda.



Slika 5. Kemijsko stanje tijela podzemnih voda na vodnom području rijeke Dunav



Slika 6. Količinsko stanje tijela podzemnih voda na vodnom području rijeke Dunav



Slika 7. Kemijsko stanje tijela podzemnih voda na jadranskom vodnom području



Slika 8. Količinsko stanje tijela podzemnih voda na jadranskom vodnom području

Ocijenjeno stanje geotermalnih i mineralnih voda je dobro osim za Istarsko vodno tijelo koje je u lošem kemijskom stanju.

U odnosu na prethodno razdoblje, rezultati monitoringa a time i ocjena stanja voda ukazuju na nešto veći broj vodnih tijela koja nisu zadovoljila ciljeve upravljanja vodama (a prema obvezama Okvirne direktive o vodama to je postizanje najmanje dobrog stanja i ne pogoršavanje stanja). U odnosu na prethodno plansko razdoblje, ocjena stanja voda je nešto nepovoljnija, zbog:

- promijenjene i detaljno razrađene tipologije i rezultata interkalibracije provedene na razini Europske unije (usuglašavanje klasifikacijskih sustava pokazatelja stanja),
- kvalitetnijeg monitoringa: povećanog broja monitoring postaja i povećanog opsega mjerenja (pokazatelja koji se mjere i učestalosti mjerenja),
- različitih obveznih dodatnih interpretacija kemijskog stanja,
- novih tvari koje nisu bile analizirane u prethodnom Planu,
- vrlo strogih standarda kakvoće s visokim granicama kvantifikacije,
- uključivanja u analizu perzistentnih, bioakumulativnih i toksičnih tvari (naročito uočljivo na moru - biota),
- proširenja liste opterećenja (dodana atmosferska depozicija, utjecaj održavanja šuma),
- detaljnijim kartografskim / topografskim podlogama i detaljnijim podacima vezanim za raspršena opterećenja (otjecanje s urbanih i poljoprivrednih površina i slično),

te ono što je osobito važno:

- tek samo dijelom povećanog opterećenja (bilo otpadnim vodama, bilo utjecajem na hidrološke i morfološke karakteristike voda).

Uz stanja voda na razini vodnih tijela razrađeni su i rizici nepostizanja okolišnih ciljeva koji su iskazani u 3 klase: okolišni ciljevi će vjerojatno biti postignuti, procjena nije pouzdana i okolišni ciljevi vjerojatno neće biti postignuti. Rizici su procijenjeni uzimajući u obzir nekoliko kriterija: neispunjavanje planiranog programa mjera, nepouzdanost

procjene stanja, te: pojava invazivnih vrsta, četiri klimatska scenarija, kumulativni utjecaji razvojnih aktivnosti. Za lakše korištenje rezultata Plana na razini vodnih tijela su procijenjena i odstupanja od okolišnih ciljeva prema sljedećim kategorijama: „nema odstupanja“, 0 - 10 % „vrlo malo odstupanje“, 10 % - 25 % „malo odstupanje“, 25 % - 50 % „srednje odstupanje“ i > 50 % „veliko odstupanje.

Kako bi se postigli ciljevi upravljanja vodama predložen je i provodi se opsežan program mjera od kojih je najvažnije izdvojiti program razvoja javne vodoopskrbe i javne odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda razrađen u Višegodišnjem programu gradnje komunalnih vodnih građevina za razdoblje do 2030. godine. Programom je predviđeno uložiti oko 3,4 milijarde eura u razvoj javne vodoopskrbe, odnosno oko 3,6 milijardi eura u javnu odvodnju i pročišćavanje komunalnih otpadnih voda. Provedba ovog programa je u tijeku. Uz nacionalna sredstva (proračunske transfere, naknade Hrvatskih voda i naknade za razvoj koja se prikuplja na lokalnoj razini) veliki dio sredstava pristiže i iz Europskih fondova (Operativnog programa konkurentnosti i kohezije - OPKK 2014. - 2021. i Nacionalnog plana oporavka i otpornosti - NPOO).

S obzirom na stanje voda, rizike i značajna odstupanja od okolišnih ciljeva koje nije moguće postići do propisanog roka 2027. godine, Planom je predviđeno provođenje takozvanih dopunskih mjera. Provođenje dopunskih mjera predstavlja dodatni napor za sve korisnike voda na mjestima gdje postoji rizik da okolišni ciljevi vjerojatno neće biti postignuti. Ukoliko korisnik voda zaključi da je provođenje dopunskih mjera tehnički i financijski zahtjevno, odnosno financijski i vremenski teško izvedivo može zatražiti privremeno izuzeće od provedbe dopunske mjere uz prilaganje odgovarajuće analize kojom to dokazuje.

S obzirom na intenzivan investicijski ciklus i razvoj gospodarstva očekuju se i određeni dodatni pritisak na vodne resurse bilo kada je riječ o zahvaćanju voda i ispuštanju pročišćenih otpadnih voda ili je riječ o zahtjevima za povećanu sigurnost i zaštitu od poplava. Na razini Plana to se prati povećanim brojem pristiglih zahtjeva za pristup informacijama kojima se traže izvanci iz registra vodnih tijela, kako osnovne informacije za ocjenu utjecaja samog zahvata ili kumulativno s ostalim zahvatima na stanje vodnog tijela. Broj zahtjeva na godišnjoj razini se postupno povećava i sada je dosegnuo broj od gotovo 800. Do donošenja detaljnije razrađenih provedbenih propisa i vodiča Planom se predlažu postupci utvrđivanja utjecaja novih zahvata na vodna tijela, te ukoliko je riječ o značajnim utjecajima propisuje se i obveza provođenja postupka utvrđivanja prevladavajućeg javnog interesa.

Zaključno, može se reći da je dio Plana koji se odnosi na upravljanje stanjem voda donio niz novina što je u određenoj mjeri utjecalo na promjenu percepcije o stanju posebice površinskih voda u Republici Hrvatskoj i važnosti upravljanja vodama kako bi se očuvala održivost vodnog resursa u cjelini. Plan je postao operativan i provodi se na „dnevnoj“ razini. S obzirom na opseg i detaljnost informacija koje sadrži te „dinamiku i način“ njegovog korištenja Plan doživljava transformaciju postupno prelazeći iz papirne u praktičniju, digitalnu formu.

5. UPRAVLJANJE RIZICIMA OD POPLAVA

Aktivnosti na izradi Plana u dijelu koji se odnosi na upravljanje rizicima od poplava, omogućavaju nastavak usklađivanja i prelaska s dosadašnje prakse upravljanja zaštitom od poplava na koncept upravljanja poplavnim rizicima (uzimajući u obzir i moguće značajne usluge ekosustava) u kontekstu integralnog upravljanja vodama:

- Planiranje upravljanja poplavnim rizicima osigurava veliku fleksibilnost u primjeni i jasan pristup u tri koraka s definiranim obveznim vremenskim rasporedom, ishodima i obvezom izvješćivanja.
- Potreba za usklađenjem koncepata polazi od definicije „poplave“ koja u kontekstu upravljanja rizicima od poplava podrazumijeva privremenu pokrivenost vodom zemljišta koje obično nije prekriveno vodom i uključuje poplave koje uzrokuju rijeke, gorski potoci, povremeni bujični vodotoci, te more na priobalnim područjima (može isključivati poplave iz sustava komunalne odvodnje). Ovakvom definicijom procjena rizika obuhvaća i pitanje koincidencije i superponiranja događaja. Proširenjem definicije na poplave mora u slučaju Republike Hrvatske potrebno je uložiti dodatne napore u uspostavu odgovarajuće raspodjele nadležnosti i koordinacije većeg broja institucija državne, regionalne i lokalne uprave.
- S obzirom na to da je „poplavni rizik ili rizik od poplava“ definiran kao kombinacija vjerojatnosti poplavnog događaja i potencijalnih štetnih posljedica poplavnog događaja za zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarsku aktivnost, jasno je da pitanje rizika od poplava više nije samo tehničke prirode, nego uključuje puno šire, društveno - ekonomske, socijalne i ekološke aspekte. To također znači da je uključivanje javnosti i dionika u izradu Plana već u ranoj fazi pripreme od presudne važnosti. Uključivanje javnosti u proces odlučivanja o definiranju smanjenja razine rizika od poplava omogućava dugoročno stabilno okruženje u kojem je moguće provesti strateške projekte velikih dimenzija, čija provedba obično traje duži niz godina i prelazi razdoblje jednog planskog ciklusa.
- Analiza usklađenosti i koordiniranosti niza institucija koje se na različite načine mogu povezati s poplavama, iznalaženje prihvatljivih komunikacijskih kanala te pravovremeno uključivanje javnosti u postupak planiranja svakako se pozitivno odražava na efikasnost planiranja i upravljanja poplavnim rizicima.

Uzimajući u obzir:

- povijesne poplave sistematizirane korištenjem podataka iz Registra poplavnih događaja <https://www.voda.hr/hr/registar-poplavnih-dogadaja> koji se vodi u Hrvatskim vodama i to:
 - riječne poplave koje uključuju i poplave uzrokovane ledom i poplave nastale gubitkom funkcionalnosti sustava za obranu od poplava,
 - poplave uzrokovane podzemnim vodama, karakteristične za područje krša,
 - plavljenja uslijed visokih razina mora,
 - plavljenja uslijed zatajenja vodne infrastrukture - kanala i akumulacija,
- procjenu opasnosti od poplava, odnosno razine zaštićenosti područja te preliminarno određena područja predviđena za prihvat i tečenje velikih voda,
- niz receptora rizika od poplava:

- stanovništvo uključivo ustanove s ranjivom populacijom,
- okoliš uključivo IED i SEVESO postrojenja, područja zaštite vode namijenjene za ljudsku potrošnju ili rezervirane za te namjene u budućnosti, područja za kupanje i rekreaciju, područja namijenjena zaštiti staništa ili vrsta gdje je održavanje ili poboljšanje stanja voda bitan element njihove zaštite sukladno Zakonu o vodama i / ili propisima o zaštiti prirode,
- kulturno nasljeđe,
- gospodarstvo,
- budući razvoj događaja koji uključuje: klimatske promjene, i buduće gospodarske razvojne aktivnosti,

obavljena je procjena preliminarnog rizika i određena su područja sa potencijalno značajnim rizicima od poplava. S obzirom na to da se ovim dokumentom provodi novelacija Prethodne procjene rizika od poplava iz 2013. godine, te novelacija područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava, napravljena je usporedba rezultata s rezultatima iz prošlog planskog ciklusa.

Tablica 9. Promjena područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava u odnosu na Prethodnu procjenu rizika od poplava 2013.

JEDINICA UPRAVLJANJA	Vodno područje rijeke Dunav		Jadransko vodno područje		Otoci teritorijalnog mora		Republika Hrvatska	
Broj elemenata za analizu								
Broj elemenata za analizu	broj	%	broj	%	broj	%	broj	%
Zadržan status područja potencijalno značajnog rizika od poplava	1.834	33 %	785	24 %	0	0 %	2.619	30 %
Postalo područje s potencijalno značajnim rizikom od poplava	826	15 %	240	7 %	0	0 %	1.066	12 %
Izgubilo status područja s potencijalno značajnim rizikom od poplava	226	4 %	142	4 %	0	0 %	368	4 %
Nije područje s potencijalno značajnim rizikom od poplava	2.618	48 %	2.065	64 %	24	100 %	4.707	54 %
UKUPNO	5.504	100 %	3.232	100 %	24	100 %	8.760	100 %
Površina								
Površina	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Zadržan status područja potencijalno značajnog rizika od poplava	17.675	50 %	9.845	46 %	0	0 %	27.520	49 %
Postalo područje s potencijalno značajnim rizikom od poplava	4.635	13 %	1.741	8 %	0	0 %	6.376	11 %

JEDINICA UPRAVLJANJA	Vodno područje rijeke Dunav		Jadransko vodno područje		Otoci teritorijalnog mora		Republika Hrvatska	
Izgubilo status područja s potencijalno značajnim rizikom od poplava	1.828	5 %	1.252	6 %	0	0 %	3.080	5 %
Nije područje s potencijalno značajnim rizikom od poplava	10.970	31 %	8.616	40 %	4,5	100 %	19.591	35 %
UKUPNO	35.108	100 %	21.454	100 %	4,5	100 %	56.566	100 %
Broj stanovnika								
Stanovnici	Broj stanovnika	%	Broj stanovnika	%	Broj stanovnika	%	Broj stanovnika	%
Zadržan status područja potencijalno značajnog rizika od poplava	2.270.999	78 %	1.110.052	80 %	0		3.381.051	79 %
Postalo područje s potencijalno značajnim rizikom od poplava	294.024	10 %	61.934	4 %	0		355.958	8 %
Izgubilo status područja s potencijalno značajnim rizikom od poplava	70.436	2 %	35.488	3 %	0		105.924	2 %
Nije područje s potencijalno značajnim rizikom od poplava	269.521	9 %	172.435	12 %	0		441.956	10 %
UKUPNO	2.904.980	100 %	1.379.909	100 %	0		4.284.889	100 %

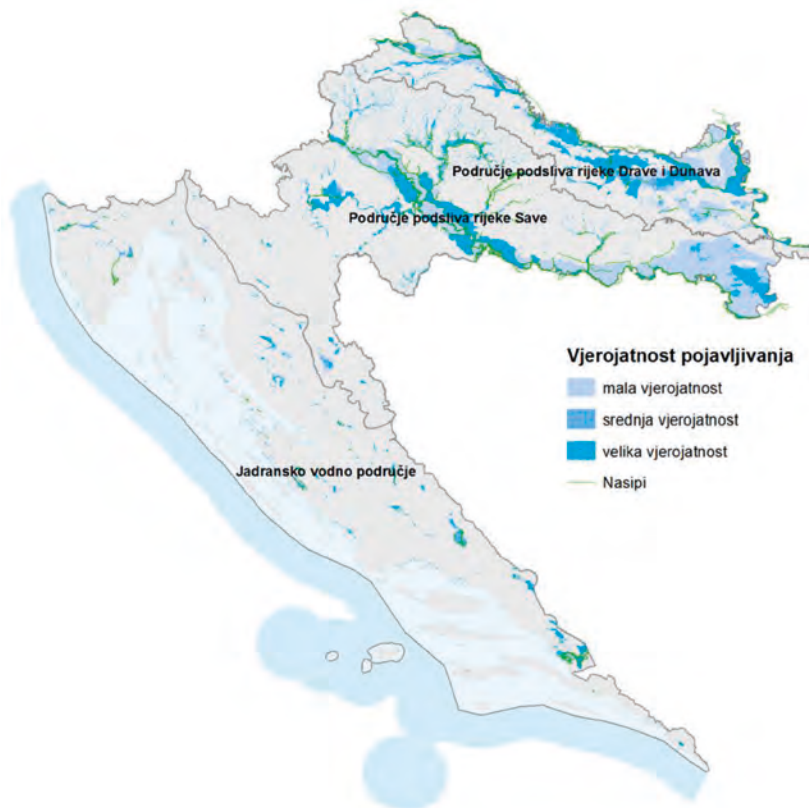
Za određena područja sa potencijalno značajnim rizicima od poplava napravljene su i objavljene karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava. Karte opasnosti od poplava - 2019. (planski ciklus 2022. - 2027.) značajno su dopunjene u odnosu na Karte opasnosti od poplava - 2013. (planski ciklus 2016. - 2021.). Uz metodološka unaprjeđenja, plavljenja su kartirana na područjima s potencijalno značajnim rizicima od poplava prema Prethodnoj procjeni rizika od poplava - 2018.

Tablica 10. Ukupno potencijalno ugrožene površine

SCENARIJ	PPZRP			Ostala područja			Ukupno		
	MV	SV	VV	MV	SV	VV	MV	SV	VV
PODRUČJE	km ²								
Područje podslivova rijeka Drave i Dunava	3.160	1.634	1.239	154	57	25	3.313	1.690	1.264
Područje podsliva rijeke Save	5.054	2.098	1.727	147	49	27	5.202	2.147	1.754
Vodno područje rijeke Dunav	8.214	3.731	2.966	301	106	51	8.515	3.837	3.018
Jadransko vodno područje	834	528	283	14	7	5	848	535	288

	PPZRP			Ostala područja			Ukupno		
Republika Hrvatska	9.049	4.259	3.249	315	113	57	9.363	4.372	3.306
MV - scenarij male vjerojatnosti pojavljivanja, SV - scenarij srednje vjerojatnosti pojavljivanja, VV - scenarij velike vjerojatnosti pojavljivanja, PPZRP - područja potencijalno značajnih rizika od poplava									

Na razini područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava (PPZRP) u Hrvatskoj, prema scenariju male vjerojatnosti pojavljivanja (MV) ugroženo je 9.049 km² (16,0 %), prema scenariju srednje vjerojatnosti pojavljivanja (SV) 4.259 km² (7,5 %), a prema scenariju velike vjerojatnosti pojavljivanja (VV) 3.249 km² (5,7 %) državnog kopnenog teritorija. Pri tome treba naglasiti da su zahvaljujući znatno poboljšanim podlogama korištenim pri izradi Kartata opasnosti od poplava - 2019., poplavne površine izdvojene od stalnih vodenih površina većih vodotoka, te da je znatno preciznije definirana obalna crta mora što je rezultiralo znatno većom točnošću rezultata, ali i otežalo usporedbe s Kartama opasnosti od poplava - 2013. Najveće površine ugrožene poplavama se nalaze na području podsliva rijeke Save, ali ukoliko se promatra udjel poplavnih površina u ukupnoj površini područja, najugroženije je područje podslivova rijeka Drave i Dunava. Jadransko vodno područje je površinom znatno manje ugroženo od poplava.



Slika 9. Karta opasnosti od poplava male, srednje i velike vjerojatnosti pojavljivanja

Karte rizika od poplava su značajno promijenjene s obzirom na to da se znatno poboljšao fond dostupnih podataka, te njihova kvaliteta i stupanj detaljnosti. Najveći napredak je ostvaren u pouzdanijem lociranju potencijalno ugroženih stanovnika, te uključivanjem novih tema vezanih uz kulturna dobra, elektroenergetski sustav i ustanove socijalne skrbi. Karte rizika od poplava prikazuju potencijalne štetne posljedice na područjima za koja su prethodno izrađene karte opasnosti od poplava za analizirane scenarije (poplave velike, srednje i male vjerojatnosti pojavljivanja) uzimajući u obzir sljedeće:

- temeljna topografska baza Državne geodetske uprave,
- podaci o stanovništvu Državnog zavoda za statistiku (popis 2011. godine i procjena za 2018. godinu),
- zdravstvene ustanove: bolnice, hitne medicine, laboratoriji i sanitetski prijevoz (Ministarstvo zdravstva),
- dječji vrtići (Ministarstvo znanosti i obrazovanja),
- osnovne škole (Ministarstvo znanosti i obrazovanja),
- ustanove socijalne skrbi: domovi za djecu bez odgovarajuće roditeljske skrbi, domovi za odgoj djece i mladeži, domovi za djecu s teškoćama u razvoju i odrasle osobe s invaliditetom, domovi za osobe s tjelesnim, intelektualnim i osjetilnim oštećenjima, domovi za starije osobe, domovi za psihički bolesne odrasle osobe, domovi za starije i nemoćne osobe, ustanove za odrasle osobe ovisne o alkoholu, drogama ili drugim opojnim sredstvima, ustanove za skrb o žrtvama obiteljskog nasilja (Ministarstvo rada, mirovinskoga sustava, obitelji i socijalne politike).

Uz podatke o stanovništvu razmatrano je i:

- vrste ugroženih ekonomskih aktivnosti grupirani prema kategorijama,
- korištenje zemljišta na svim poplavljenim područjima,
- zaštićena područja i to: voda namijenjena za ljudsku potrošnju, voda za rekreaciju i kupanje i područja zaštite staništa i ptica proširena s drugim službeno proglašenim područjima zaštite prirode koja nisu uvrštena u Registar zaštićenih područja - područja posebne zaštite voda,
- kulturna dobra,
- mogući izvori štetnih posljedica poplava po okoliš - odlagališta otpada, pročištači otpadnih voda, te velika industrijska postrojenja,

a korišteni su službeni podaci iz registara vodnog gospodarstva i drugih nadležnih institucija.

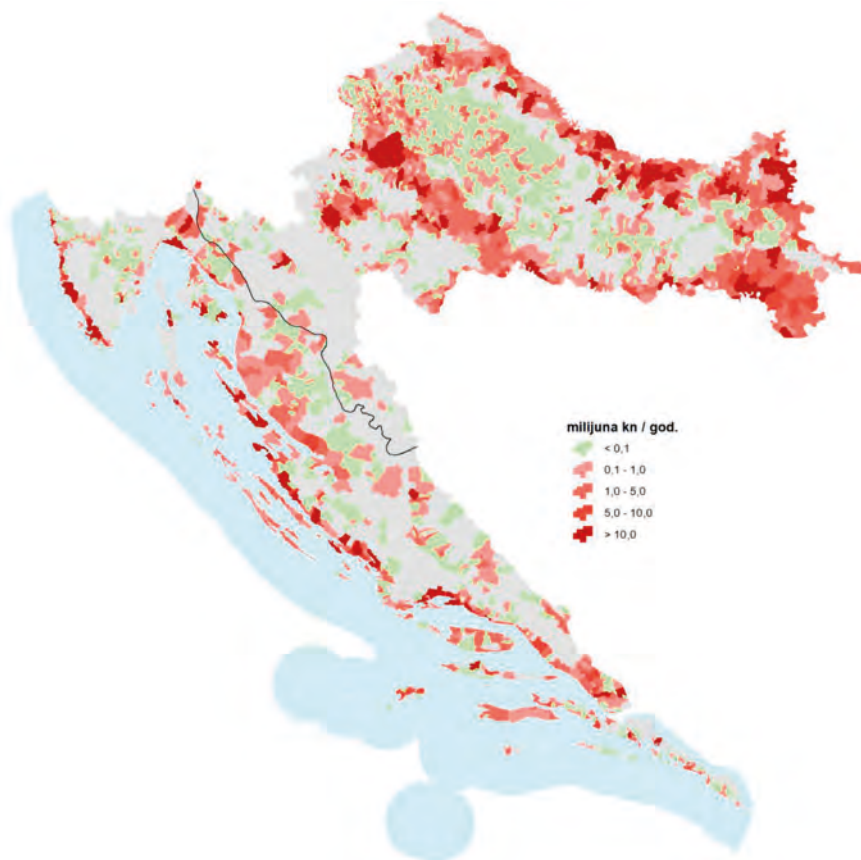
Karte su izrađene u mjerilu 1 : 25.000 i javnosti su također dostupne na mrežnoj stranici Hrvatskih voda.

Karte se u prilagođenim formatima dostavljaju u Centralno spremište podataka (CDR) Europske informacijske i promatračke mreže za okoliš (EIONET), te Međunarodnoj komisiji za zaštitu rijeke Dunav - ICPDR i Međunarodnoj komisiji za sliv rijeke Save - ISRBC. S danom objave Karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava - 2018. prestale su važiti Karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava - 2013. Kako bi se osigurao kontinuitet planiranja, prethodne karte su i nadalje ostale javno dostupne.

Procjena potencijalnih poplavnih šteta izrađena je na makro razini temeljem karata opasnosti od poplava za ona područja koja su određena kao područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava. Rezultati analiza na makro razini pokazuju da su za poplavni scenarij male vjerojatnosti štete najveće, jer je tada i najveće područje prekriveno vodom. U slučaju poplavlivanja po scenariju male vjerojatnosti pojavljivanja na području podsliva rijeke Save šteta je najveća, budući da su poplavnim scenarijem male vjerojatnosti pojavljivanja ugroženi gradovi poput Zagreba, Siska, Slavonskog Broda, Županje i drugi. Uzimajući u obzir proračun potencijalne štete prema sva tri scenarija procijenjena je srednja godišnja šteta koja na razini Republike Hrvatske iznosi oko 996 milijuna eura.

Tablica 11. Srednja godišnja potencijalna šteta

Vodno područje / podsliv	Ukupna potencijalna šteta			Srednja godišnja šteta
	velika vjerojatnost	srednja vjerojatnost	mala vjerojatnost	
	milijuna eura			
Područje podslivova rijeka Drave i Dunava	671	1.205	4.228	379
Područje podsliva rijeke Save	502	870	14.115	343
Vodno područje rijeke Dunav	1.173	2.075	18.342	722
Jadransko vodno područje	455	1.310	4.258	274
Republika Hrvatska	1.628	3.385	22.600	996



Slika 10. Srednja godišnja potencijalna šteta

Ciljevi upravljanja rizicima od poplava određeni su Strategijom upravljanja vodama i Zakonom o vodama⁵ a Planom se provodi njihova konkretizacija u razdoblju njegovog važenja. Tijekom postupaka usvajanja Strategije i Plana, ciljevi su preispitivani i verificirani uz učešće širokog kruga zainteresiranih dionika i javnosti.

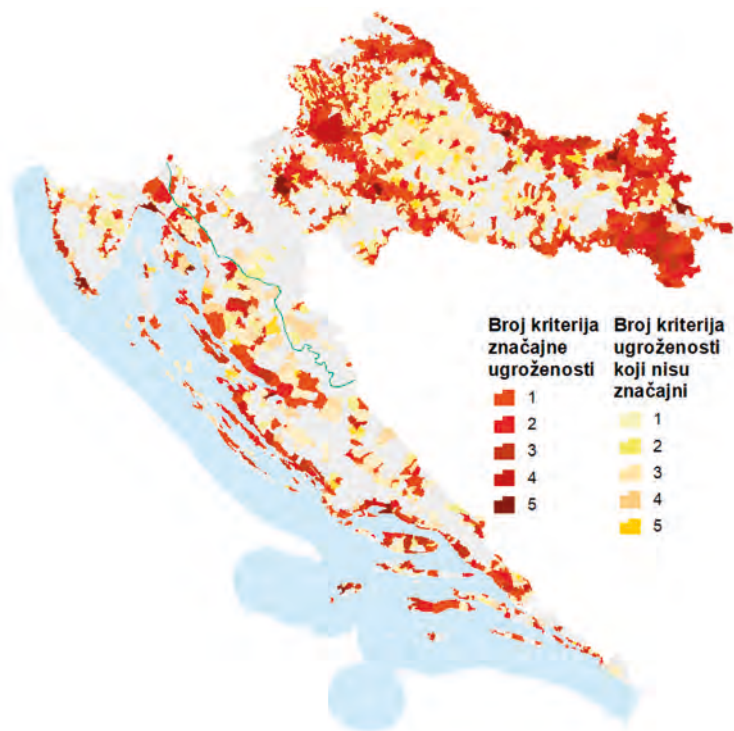
Strateški dugoročni (krajnji) cilj (vizija) je uspostava i održanje prihvatljivog rizika od poplava na cjelokupnom teritoriju Republike Hrvatske. Ciljevi upravljanja rizicima od poplava su sistematizirani u dvije grupe: (i) ciljevi koji se odnose na unaprjeđenje upravljanja rizicima od poplava i koji se odnose na cjelokupni teritorij Republike Hrvatske odnosno sva područja pod potencijalnim rizikom od poplava (opći) i (ii) ciljevi kojima se smanjuje rizik od poplava na područjima s potencijalno značajnim rizikom od poplava. Pri tome, treba napomenuti da pri jasnijem specificiranju odnosno kvantificiranju ovog cilja, da je riječ o vremenski i prostorno promjenljivom cilju. Naime, vremenom (klimatske promjene, gospodarski razvoj, percepcija javnosti i drugo) dolazi do promjene kako područja pod potencijalnim rizikom od poplava i područja s potencijalno značajnim

⁵ Transponirane odredbe Direktive o procjeni i upravljanju rizicima od poplava

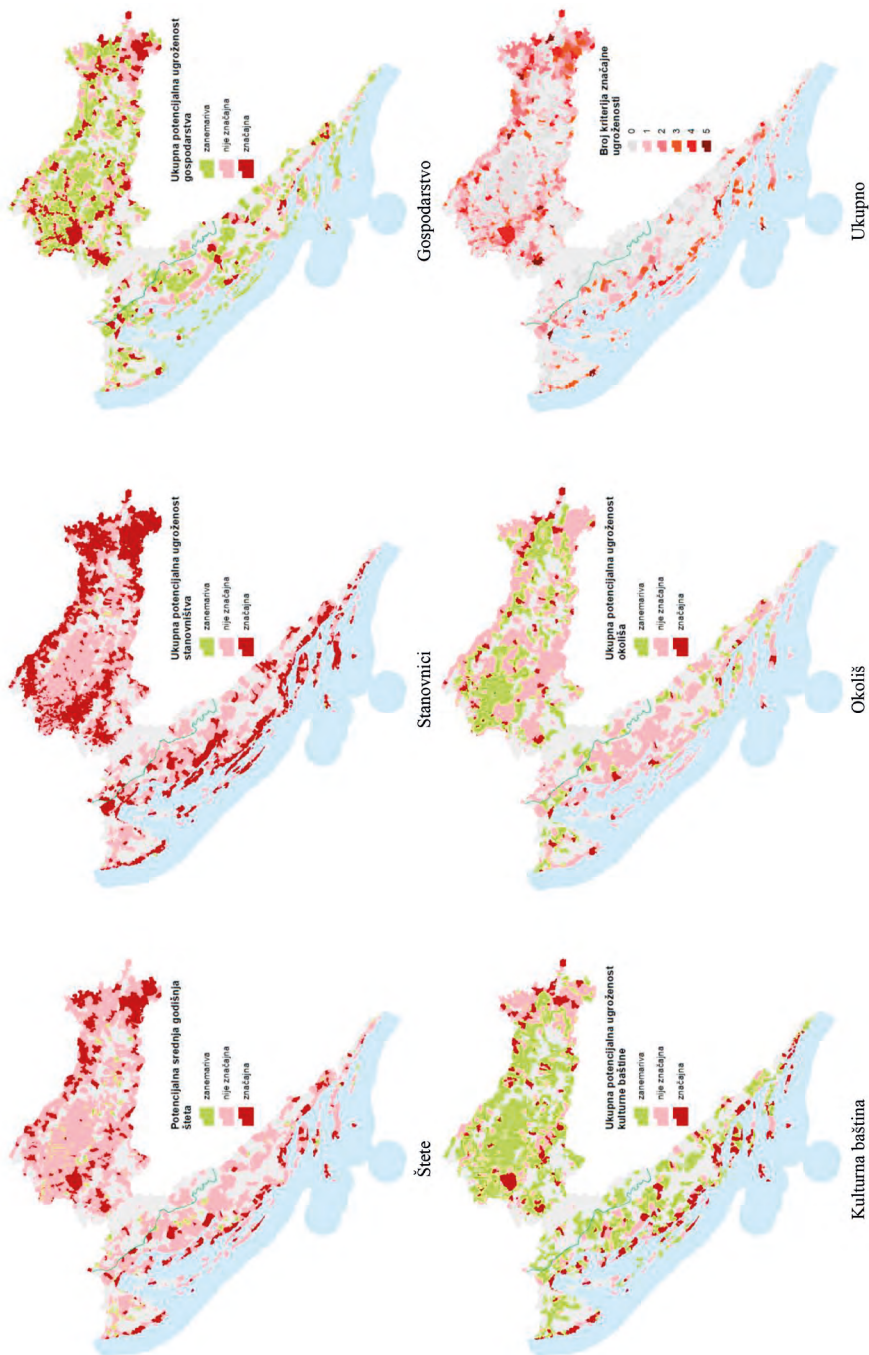
rizikom od poplava, tako i što je još važnije, društveno - ekonomske prihvatljivosti rizika od poplava. Polazeći od navedenog, a kako bi se odredila područja prioritarnog djelovanja provedene su analize potencijalne razine ugroženosti po četiri osnovne grupe receptora (stanovništvo, gospodarstvo, kulturno nasljeđe i okoliš) uz dodatni kriterij veličine prosječne godišnje štete. Analize su napravljene na razini područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava.

Tablica 12. Kriteriji za odabir područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava na kojima je potrebno prioritarno smanjiti rizik od poplava

Kriterij	Podkriterij		velika vjerojatnost pojavljivanja	srednja vjerojatnost pojavljivanja	mala vjerojatnost pojavljivanja
stanovništvo	zaštita stanovništva od velikih voda, osobito ranjivih skupina djece, starijih i bolesnih	srednji godišnji broj stanovnika ugroženih poplavama	> 1		
		broj ustanova s ranjivom populacijom	> 0	> 2	> 3
okoliš	područja zaštite vode namijenjene za ljudsku potrošnju ili rezervirane za te namjene	broj	> 0		> 1
	otpad - zbrinjavanje otpada odlagališta - utjecaj na okoliš	broj	> 0		
kulturno naslijeđe	nepokretna kulturna dobra te područja pod UNESCO-ovom zaštitom	prosječna godišnja štetna posljedica	> veća od srednje		
gospodarstvo	postrojenja - IED postrojenja (osim zbrinjavanja otpada)	broj	> 0		
	uređaji za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda	broj	> 0		
	prometna infrastruktura	-	autoceste i željezničke pruge		
	otpad (zbrinjavanje otpada - odlagališta)	broj	> 0		
šteta	direktna srednja godišnja šteta*	milijuna eura godišnje	> 0,46		
*Proračunom su uzete u obzir direktne štete na svim kategorijama korištenja zemljišta i građevina, uključujući i one korištene u ostalim kriterijima (ustanove s ranjivom populacijom, odlagališta otpada, nepokretna kulturna dobra, IED postrojenja, uređaje za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda, prometnu infrastrukturu te uključujući i poljoprivredne površine).					



Slika 11. Ukupna ocjena razine ugroženosti područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava



Slika 12. Područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava za koje je ocijenjeno da je potrebno smanjiti rizik od poplava

Iako je očigledno da mjere poduzete u proteklom planskom razdoblju značajno doprinose dostizanju strateških ciljeva, poradi vrlo dinamičnog okruženja tijekom proteklog planskog razdoblja, pokazalo se da procjenu napretka prema uspostavljenim ciljevima nije bilo moguće pouzdanije jednoznačno kvantificirati iz sljedećih razloga:

- Tek su provedene prve aktivnosti na kvantifikaciji utjecaja klimatskih promjena na rizike od poplava.
- Potresi na području Zagreba (23. ožujka 2020.) i Petrinje (29. prosinca 2020.) su značajno utjecali na povećanje rizika od poplava nasipima zaštićenih područja.
- Niz globalnih kriznih događaja je polučio kako promjene mogućnosti za provođenje mjera za smanjenje rizika od poplava tako i promjenu prioriteta.

Uz navedeno, između dva planska ciklusa, bitno je unaprjeđena podatkovna osnova i metodologija za upravljanje rizicima od poplava prema novom okviru Europske unije. Navedeno je značajno utjecalo, kako na početno tako i na trenutno i ciljno stanje. Radi toga, tijekom ovog planskog ciklusa planira se provesti verifikacija i unaprjeđenje interpretacije novopostavljenih ciljeva u smislu:

- interpretacije strateških ciljeva za potrebe planskih ciklusa i njihova prostorna diversifikacija na područja potencijalno značajnih rizika od poplava,
- robusnijem opisivanju ciljeva i stupnjeva njihovog dostizanja kako bi bili manje osjetljivi na poremećaje uključujući i društvene promjene (prihvatljivost rizika), čime bi bila omogućena njihova revizija, odnosno omogućeno lakše praćenje njihove realizacije.

S obzirom na navedeno potrebno je utvrditi da se znatno promijenjenim vodnim tijelima treba proglasiti ona vodna tijela

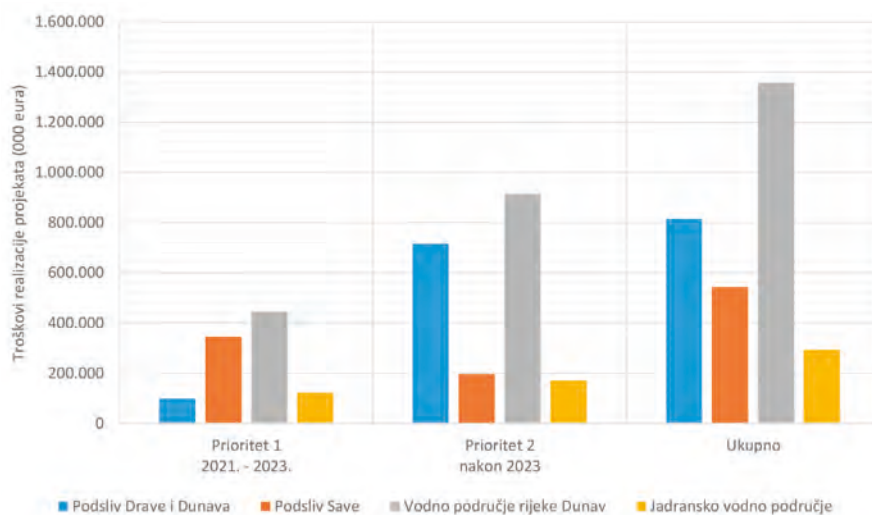
- koja se nalaze na poplavnom području scenarija srednje vjerojatnosti i da
- barem jedan kriterij za određivanje rizika na području potencijalno značajnog rizika od poplava nije ocijenjen kao zanemariv, te
- za koja je utvrđeno da prema biološkim pokazateljima ekološkog stanja ne zadovoljavaju okolišne ciljeve i to prvenstveno vezano uz hidromorfološka opterećenja.

Postavljeni ciljevi upravljanja rizicima od poplava ostvaruju se postupnom realizacijom niza aktivnosti i mjera za koje su uglavnom nadležne institucije vodnoga gospodarstva. U njihovoj provedbi paralelno sudjeluju i Ministarstvo unutarnjih poslova, Ravnateljstvo civilne zaštite, Državni hidrometeorološki zavod, a mogu biti uključene i druge institucije. Primjenom mjera sukladno smjernicama Europske unije i najboljoj međunarodnoj praksi, moguće je spriječiti ili umanjiti intenzitet plavljenja i razornosti poplava (zadržavanje vode na slivu, preraspodjela voda koje sudjeluju u formiranju poplavnog vala i ostalo).

Dio programa provedbenih mjera, građevinske mjere smanjenja rizika od poplava detaljno je razrađen u Nacrtu Višegodišnjeg programa gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije za razdoblje do 2030. godine koji je u postupku strateške procjene utjecaja na okoliš. Treba naglasiti da je program mjera usklađen s formalnim zahtjevima tijela za provedbu projekata zaštite od štetnog djelovanja voda koji će se predložiti za sufinanciranje sredstvima fondova Europske unije i drugih međunarodnih

financijskih institucija. Konceptije rješenja (projekti iz Višegodišnjeg programa gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije), vrednuju se i unapređuju kroz niz aktualnih studija / projekata, a koje će, po eventualnom usvajanju optimalnih rješenja, činiti konačnu listu projekata. S novim pristupom odabira projekata već se započelo gdje se u okviru vrednovanja tehničkih rješenja uz građevinske mjere razmatra i prioritarno mogućnost implementacije zelene infrastrukture i negrađevinske mjere, prvenstveno mjere prirodnog zadržavanja voda. Za građevinske mjere, pregled provedenih mjera i prioritizacija građevinskih mjera prikazani su detaljno u Višegodišnjem programu gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije za razdoblje do 2030. godine.

Ukupna investicijska vrijednost 504 identificiranih projekata sistematiziranih u 58 projektnih cjelina zaštite od štetnog djelovanja voda je procijenjena na 1,650 milijardi eura (u procjenu je uključen porez na dodanu vrijednost).



Slika 13. Planirana ulaganja prema Nacrtu Višegodišnjeg programa gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije za razdoblje do 2030. godine

Preduvjet za ostvarenje postavljenih ciljeva, a osobito u dijelu intenzivnije primjene ekoloških rješenja smanjenja rizika od poplava je obrazovanje stručnih i znanstvenih kadrova za obavljanje zadaća integralnog upravljanja vodama. Radi usklađivanja razvoja vodnog sektora s ostalim društvenim sektorima i međunarodnim obvezama, upravljanje vodama se kontinuirano unapređuje u zakonskom, institucionalnom, financijskom, znanstvenom i stručno - tehničkom smislu. Ukupnu nacionalnu vodnu politiku u stručnom, administrativnom, regulatornom i nadzornom smislu provodi vodno gospodarstvo. Dio svojih aktivnosti vodno gospodarstvo ostvaruje samostalno, u okviru svoje nadležnosti, a dio realizira u suradnji s drugim državnim resorima, regionalnom upravom i lokalnom samoupravom, gospodarskim sektorima te znanstvenim i stručnim institucijama.

Tijekom posljednjih godina napravljeno je i izrađuje se niz studija i priprema se opsežna tehnička dokumentacija sa ciljem unaprjeđenja dijelova preventivne i operativne obrane od poplava, što doprinosi boljem razumijevanju i upravljanju rizicima od poplava.

ZAKLJUČAK

Plan upravljanja vodnim područjima do 2027. je krovni planski dokument vodnoga gospodarstva i temelj je za upravljanje vodama u sljedećih nekoliko godina. Njegov sadržaj je usklađen sa zahtjevima europskih vodnih direktiva i čini osnovicu za pripremu vodno-gospodarskih projekata koji će se sufinancirati iz europskih fondova.

Dokument je objavljen na mrežnoj stranici Hrvatskih voda zajedno s vrlo opsežnim Registrom dokumentacije koji sadrži ukupno 220 studija razvrstanih po kategorijama: kopnene površinske vode (58), podzemne vode (31), prijelazne i priobalne vode (22), opterećenja, utjecaji, ekonomske analize i ostalo (92) i upravljanje rizicima od poplava (17), te značajno doprinosi stručnoj i znanstvenoj literaturi iz područja upravljanja vodama.

LITERATURA

- [1] *Zakon o vodama* (Narodne novine, br. 66/19, 84/21 i 47/23).
- [2] *Zakon o vodnim uslugama* (Narodne novine, broj 66/19).
- [3] *Zakon o financiranju vodnog gospodarstva* (Narodne novine, br. 153/09, 90/11, 56/13, 154/14, 119/15, 120/16, 127/17 i 66/19).
- [4] *Strategija upravljanja vodama* (Narodne novine, broj 91/08).
- [5] *Plan upravljanja vodnim područjima do 2027.* (Narodne novine, broj 84/23), <https://voda.hr/hr/plan-upravljanja-vodnim-podrucjima>
- [6] *Strateška studija utjecaja na okoliš Plana upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027.*, Ekoinvest, Zagreb, 2022.,
- [7] <https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/Strate%C5%A1ka%20procjena%20utjecaja%20na%20okoli%C5%A1%20Plana%20upravljanja%20vodnim%20podru%C4%8Djima%202022.%20-%202027..pdf>
- [8] *Višegodišnji program gradnje komunalnih vodnih građevina za razdoblje do 2030. godine* (Narodne novine, broj 147/21), https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/visegodisnji_program_gradnje_komunalnih_vodnih_gradevina_za_razdoblje_do_2030._godine.pdf
- [9] *Strateška studija utjecaja na okoliš Višegodišnjeg programa gradnje komunalnih vodnih građevina za razdoblje do 2030. godine*, Elektroprojekt, Zagreb, 2021.,
- [10] <https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/upravljanje-vodama/visegodisnji-programi/STRATE%C5%A0KA%20STUDIJA%20-%20VPGKVG.pdf>
- [11] *Nacrt Višegodišnjeg programa gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije za razdoblje do 2030. godine*,

- [12] https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/NACRT%20VI%C5%A0EGODI%C5%A0NJE%20PROGRAMA%20GRADNJE%20REGULACIJSKIH%20I%20ZA%C5%A0TITNIH%20VODNIH%20GRA%C4%90EVINA%20I%20GRA%C4%90EVINA%20ZA%20MELIORACIJE%20-%20LISTOPAD%202022_.pdf
- [13] *Strateška studija o utjecaju na okoliš Višegodišnjeg programa gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije za razdoblje do 2030. godine, Knjiga I., OIKON, Zagreb, 2022., https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/27_05_2022_Studija_Visegodisnji_program_Knjiga_1.pdf*
- [14] *Strateška studija o utjecaju na okoliš Višegodišnjeg programa gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije za razdoblje do 2030. godine Knjiga II. Detaljna analiza utjecaja, OIKON, Zagreb 2022., https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/27_05_2022_Studija_Visegodisnji_program_Knjiga_2.pdf*
- [15] *Strateška studija o vjerojatno značajnom utjecaju na okoliš Višegodišnjeg programa gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije za razdoblje do 2030. Knjiga III. Glavna ocjena prihvatljivosti programa za ekološku mrežu, OIKON, Zagreb, 2022., https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/27_05_2022_Studija_Visegodisnji_program_Knjiga_3.pdf*

AUTORI

mr. sc. Sanja Barbalić ^a

dr. sc. Danko Biondić ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska
sanja.barbalic@voda.hr, danko.biondic@voda.hr



P.04.

SAVSKA KOMISIJA - PRIMJER DOBRE PRAKSE U MEĐUNARODNOJ SURADNJI

Dragan Zeljko, Jovana Rašeta Bastić, Mirza Sarač

SAŽETAK: Savska komisija je 2020. godine proslavila 15 godina postojanja. Dokazana kao uspješna platforma za dostizanje ključnih ciljeva u prekograničnoj suradnji na slivu Save, komisija u razdoblju 2019. - 2023., bilježi značajne iskorake na svim poljima djelovanja. U području upravljanja vodama, ističe se završetak "savskog" ciklusa planiranja u skladu s EU direktivama, vezano za pitanja upravljanja poplavnim rizicima i upravljanja slivom, usvajanjem Sava FRM plana (2019.) i drugog Sava RBM plana (2022.). Također je izrađen Okvir Plana upravljanja nanosom za sliv rijeke Save (2021.). U području plovidbe nastavljene su aktivnosti ka rehabilitaciji i razvoju plovidbe na rijeci Savi i izrada povezanih sigurnosnih standarda. Sustav prognoziranja, upozoravanja i upozoravanja na opasnost od poplava (Sava FFWS), kao i geografski (Sava GIS) i hidrološki (Sava HIS) informacijski sustavi su u potpunosti operativni i stalno se nadograđuju. Imajući u vidu generacije koje dolaze, nastavljen je rad s mladima kroz Parlament mladih. Prekretnicu u dosadašnjoj suradnji, priliku ali i izazov za sljedeće godine predstavlja provedba regionalne komponente projekta Svjetske banke, *Program integriranog razvoja koridora rijeka Save i Drine*, čiji će rezultati doprinijeti održivom razvoju sliva Save i time, koracima ka postizanju osnovnog cilja Okvirnog sporazuma.

KLJUČNE RIJEČI: Savska komisija, Okvirni sporazum, Međunarodna suradnja

THE SAVA COMMISSION - AN EXAMPLE OF GOOD PRACTICE IN INTERNATIONAL COOPERATION

ABSTRACT: In 2020, the Sava Commission celebrated its 15th anniversary. Proven as a successful platform for achieving key international cooperation objectives in the Sava River Basin, the Commission has been making great strides in all its fields of activity in the 2019 - 2023 period. In water management, worth noting is the completion of the Sava planning cycle according to EU directives related to flood risk management and river basin management issues by the adoption of the Sava FRM Plan (2019) and the second Sava RBM Plan (2022). In addition, the Outline on Sediment Management Plan in the Sava River Basin has been developed (2021). In the field of navigation, activities towards the restoration and development of the Sava river waterway and the development of related safety standards have continued. The Sava Flood Forecasting and Warning System (Sava

FFWS), as well as the Geographical (Sava GIS) and Hydrological (Sava HIS) Information Systems are fully operational and continually improved. Keeping in mind the coming generations, work with youth continues through the Youth Parliament. A turning point in the cooperation, but also a challenge for the years to come is the implementation of the regional component of the World Bank project entitled *Sava and Drina Rivers Corridors Integrated Development Program*, whose results will contribute to a sustainable development of the Sava River Basin and to the achievement of the main Framework Agreement objective.

KEYWORDS: Sava Commission, Framework Agreement, International cooperation

1. UVOD

Međunarodna komisija za sliv rijeke Save (Savska komisija) osnovana 2005. godine, provodi Okvirni sporazum o slivu rijeke Sava (Okvirni sporazum, 2022.), jedinstveni multilateralni ugovor čije su države stranke Republika Slovenija, Republika Hrvatska, Bosna i Hercegovina i Republika Srbija, sa sljedećim ciljevima suradnje:

- uspostava međunarodnog režima plovidbe na rijeci Savi i njenim plovnim pritokama,
- uspostava održivog upravljanja vodama u slivu rijeke Save, te
- poduzimanje mjera za sprječavanje ili ograničenje opasnosti te smanjenje i uklanjanje štetnih posljedica, uključujući posljedice poplava, leda i suša te incidenata koji uključuju stvari opasne za vode.

Savska komisija ima najširu oblast djelovanja od svih sličnih međunarodnih tijela, objedinjujući aktivnosti vezane za plovidbu i upravljanje vodama. Dobri temelji suradnje u slivu Save, utvrđeni Okvirnim sporazumom, dodatno su osnaženi protokolima uz Okvirni sporazum, koji pobliže definiraju aktivnosti koje su se države stranke obvezale provesti u specifičnim područjima suradnje. Trenutno su na snazi četiri takva protokola: o režimu plovidbe (Protokol, 2002.), sprječavanju onečišćenja voda uslijed plovidbe (Protokol, 2010.), zaštiti od poplava (Protokol, 2012.) i upravljanju nanosom (Protokol, 2015.).

U ovom radu koji pokriva aktivnosti Savske komisije u razdoblju 2019. - 2023. (Savska komisija, 2022. C), prikazan je kratak pregled rezultata u provedbi Okvirnog sporazuma i protokola koji su na snazi, s posebnim osvrtom na pitanja upravljanja vodama, plovidbu, upravljanje podacima i informacijama, suradnju i razvojna pitanja u godinama koje dolaze.

2. STATUS PROVEDBE OKVIRNOG SPORAZUMA

2.1. Integralno upravljanje vodama

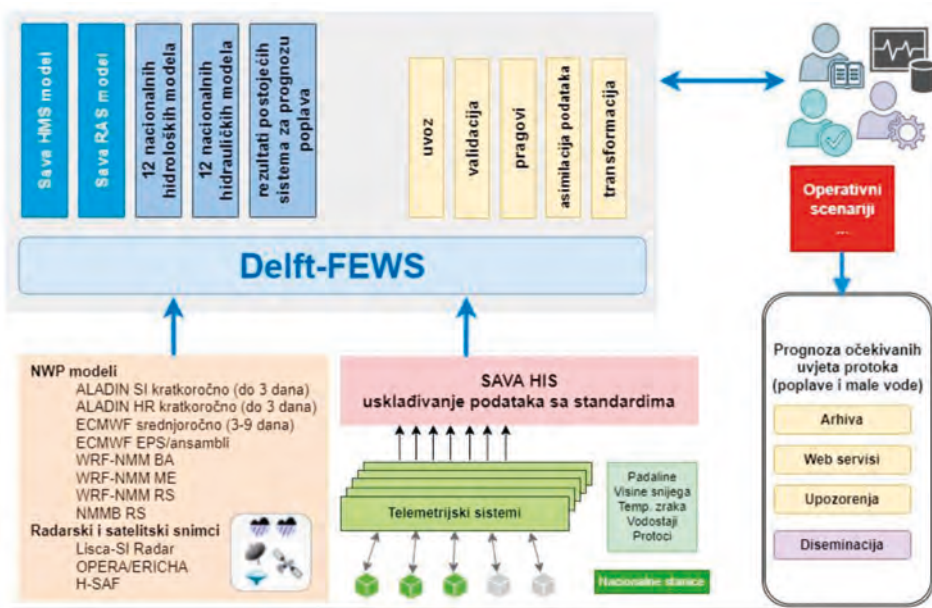
U svrhu ispunjenja osnovnih ciljeva Okvirnog sporazuma značajni iskoraci učinjeni su u područjima upravljanja riječnim slivom, poplavnim rizicima, nanosom, kao i u području zaštite od incidenata koji mogu izazvati štetne posljedice po vode.

Prvi Plan upravljanja poplavnim rizicima u slivu Save (Savska komisija, 2019.) odobren je na 8. sastanku država Stranaka (Sarajevo, 2019.). U okviru drugog ciklusa planiranja,

koji je u tijeku, izrađena je Preliminarna procjena poplavnih rizika – ažurirano izvješće 2021. (Savska komisija, 2022. A). Tijekom procjene naročita pozornost posvećena je pitanjima rizika od poplava u područjima od zajedničkog interesa za zaštitu od poplava (*Areas of Mutual Interest, AMI*) u slivu rijeke Save, identificiranima u prvom planu. Ta područja su revidirana, u skladu s analizama područja s potencijalno značajnim rizikom od poplava koje su provele države stranke.

Utjecaj poplava na kulturno - povijesnu baštinu, je analiziran kroz provedbu projekta *Održiva holistička obnova povijesnog okruženja kroz tehnološko poboljšanje i veću otpornost u zajednici* (SHELTER) koji je uspješno završen u svibnju 2023. Rezultati projekta predstavljaju značajan doprinos razumijevanju izravnih i neizravnih utjecaja poplava na nepokretna kulturna dobra u poplavnim područjima.

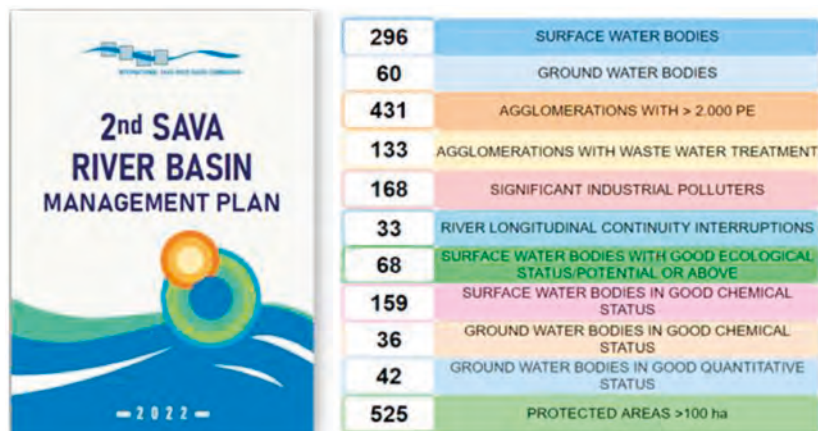
Nakon uspješne uspostave prognostičke platforme Sava FFWS-a (2018.), sustav redovito koristi 10 nacionalnih institucija iz svih pet zemalja koje dijele sliv Save, uz kontinuirano praćenje funkcioniranja sustava i ukupnu koordinaciju rada od strane Savske komisije. Sava FFWS, jedinstven sustav na globalnoj razini, predstavlja značajnu dodanu vrijednost nacionalnim prognostičkim centrima. Održivost u funkcioniranju i formalno je osigurana 2020. godine potpisivanjem *Memoranduma o razumijevanju o suradnji u vezi s redovitim funkcioniranjem i održavanjem Sava FFWS-a*. Putem međunarodnih tehničkih i upravljačkih tijela Sava FFWS-a uspostavljenih memorandumom omogućeno je redovito korištenje, održavanje i nadogradnja sustava ali i jačanje ljudskih kapaciteta kroz zajednički rad, razmjenu informacija i obuku.



Slika 1. Struktura Sava FFWS-a

Drugi Plan upravljanja slivom rijeke Save (Savska komisija, 2022. B), odobren na 9. sastanku Stranaka Okvirnog sporazuma (Zagreb, 2022.), predstavlja značajan korak u ostvarenju *uspostave održivog upravljanja vodama u slivu rijeke Save*. Plan je rezultat

višegodišnjeg zajedničkog rada stručnjaka iz svih zemalja koje dijele sliv Save, s ciljem osiguranja osnove za integralno, tehnički, ekološki i ekonomski prihvatljivo i održivo upravljanje vodama u cijelom slivu. U potrazi za prekograničnim rješenjima kao koracima prema dogovorenim ciljevima, drugi Plan opisuje trenutno stanje voda u slivu, uz Program mjera planiranih za provedbu u godinama koje dolaze.



Slika 2. Naslovnica i najvažnije značajke drugog Sava RBM plana (engleska verzija)

Sukladno obvezi iz Protokola o upravljanju nanosom uz Okvirni sporazum, države stranke od 2019. godine razmjenjuju informacije o planiranom i provedenom iskupu na godišnjoj razini, na temelju kojih Savska komisija priprema izvješća sa relevantnim informacijama o lokaciji i vrsti iskopa, procjeni količine i kakvoće, te načinu odlaganja i tretmanu nanosa. Jedan od glavnih ciljeva suradnje prema Protokolu o upravljanju nanosom je izrada prvog zajedničkog Plana upravljanja nanosom u slivu Save. U proteklom periodu su napravljeni značajni prethodni koraci, pripremom Programa izrade Plana upravljanja nanosom u slivu rijeke Save (2020.), koji sadrži opis, mehanizme provedbe i rokove predviđenih aktivnosti, te Okvir Plana upravljanja nanosom (Savska komisija, 2021.) koji daje pregled postojećih praksi monitoringa i upravljanja nanosom, kao i preporuke za naredne korake ka izradi cjelovitog plana.

Projekt *Upravljanje nepredviđenim situacijama u slivu rijeke Save* (WACOM), čiji je cilj bio smanjenje okolišnih rizika povezanih sa slučajnim onečišćenjem i poplavama, službeno je okončan u prosincu 2022. Kroz projektne aktivnosti postignuto je značajno jačanje prekogranične i međusektorske suradnje u upravljanju izvanrednim situacijama u slivu Save, te doprinos provedbi povezanih protokola uz Okvirni sporazum.

2.2. Plovidba

U pravcu *uspostave međunarodnog režima plovidbe na rijeci Savi i njenim plovnim pritokama*, intenzivirane su aktivnosti na obnovi i razvoju plovnog puta rijeke Save, konkretno dovršeni su radovi na kritičnim sektorima plovnog puta “Šabac” i “Klenak” u Srbiji, a nastavljaju se i pripreme aktivnosti za sektor “Sremska Mitrovica” te, uz suradnju sa Bosnom i Hercegovinom, za sektor “ušće Drine”. Završena je izrada Studije procjene utjecaja na okoliš i projektne dokumentacije za poboljšanje uvjeta plovnosti rijeke Save

od rkm 300 do rkm 329 (projekt „Jaruge - Novi Grad“), dijeljen između Hrvatske i Bosne i Hercegovine. Savska komisija je osnovala Forum dionika, sastavljen od predstavnika lokalne zajednice, nevladinih udruga i nadležnih tijela obje zemlje s ciljem prezentacije i rasprave o predloženim rješenjima u skladu sa principima Zajedničke izjave o razvoju održive plovidbe i zaštite okoliša u slivu Dunava. Značajni radovi na modernizaciji i povećanju kapaciteta su završeni ili su u tijeku u lukama na Savi (Šabac, Sremska Mitrovica, Slavonski Brod).

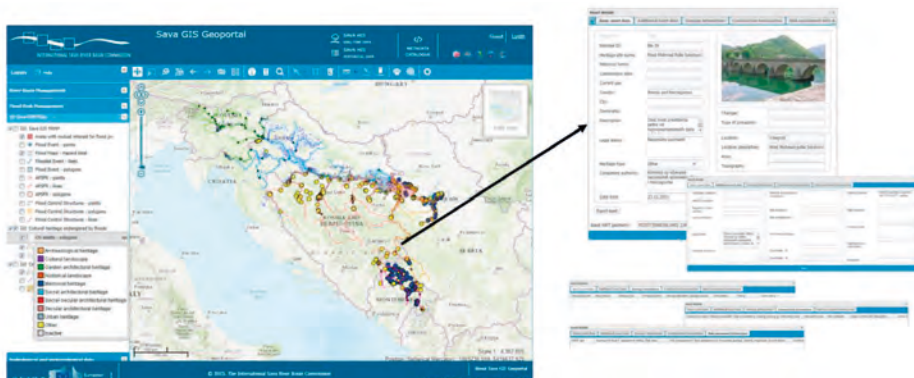
Poseban problem - kontaminacija desne obale rijeke Save u Bosni i Hercegovini minsko - eksplozivnim i neeksplozivnim ubojnim sredstvima, još čeka na rješavanje zbog određenih administrativnih postupaka, iako su još 2020. godine odobrena bespovratna sredstva od strane WBIF-a. Provedba ove aktivnosti bitan je preduvjet za nastavak aktivnosti vezanih uz obnovu plovidbe rijekom Savom.

Kroz daljnji razvoj i nadogradnju pravila, u okviru Savske komisije, u bliskoj suradnji s Europskom unijom, UNECE-om i drugim riječnim komisijama, u cilju poboljšanja sigurnosti plovidbe kroz objedinjavanje pravila i izradu plovidbenih priručnika, izrađene su nova verzija Daljinarar rijeke Save i plovnih pritoka s podacima o novom sektoru od hrvatsko - slovenske granice do Krškog (2020.) i nove ažurirane verzije Albuma mostova (2021.) te Priručnika za plovidbu na rijeci Savi (2022.). U funkciji su i dvije web aplikacije: za izradu Plana obilježavanja plovnog puta i za potporu inspekcijskim službama u unutarnjoj plovidbi.

2.3 Upravljanje podacima i informacijama

Uspostavljeni kanali razmjene podataka i informacija u okviru Savske komisije kontinuirano služe kao neophodna sredstva i alati za uspješnu provedbu svih aktivnosti.

Sava GIS platforma (www.savagis.org), u potpunosti je operativna i konstantno se unapređuje, uz značajan i sve veći broj korisnika kako iz stručnih i radnih skupina Savske komisije, tako i iz nacionalnih institucija, tekućih projekata, kao i drugih stručnih korisnika. Trenutno dostupni skupovi podataka uključuju podatke iz Sava RBM i FRM planova i povezanih analiza, a u postojeći FRM modul u okviru projekta SHELTER integrirana je nova podatkovna tema vezana za podatke o kulturno - povijesnoj baštini ugroženoj poplavama. Nedavno su razvijeni i moduli za plovidbu i sprječavanje i kontrolu incidenata i integrirani u Sava GIS.



Slika 3. Rezultati projekta SHELTER na Sava GIS platformi

Savska komisija kontinuirano osigurava pristup standardiziranim hidrološkim i meteorološkim podacima vremenskih nizova i statističkih parametara koji su temelj djelotvornog upravljanja vodama u slivu rijeke Save. Sava HIS (www.savahis.org) u operativnoj je uporabi kao učinkovit alat za prikupljanje, pohranjivanje i razmjenu hidroloških i meteoroloških podataka u približno stvarnom vremenu kao i naknadno obrađenih podataka. Broj postaja i raspoloživih podataka u okviru Sava HIS-a kontinuirano raste, a trenutno se prikupljaju podatci sa 314 hidroloških i 220 meteoroloških postaja. Na temelju hidroloških i meteoroloških podataka u Sava HIS-u, koje dostavljaju pružatelji podataka iz savskih zemalja, pripremaju se hidrološki godišnjaci (Savska komisija, 2006. / 2020.), javno dostupni na internetskoj stranici Savske komisije.

2.4 Razvojna pitanja i planirane aktivnosti

U pravcu ispunjenja glavnog cilja Okvirnog sporazuma - održivog razvoja sliva rijeke Save, Savska komisija je, zajedno s nacionalnim, regionalnim i međunarodnim dionicima, posvećena iznalaženju prilika za poticanje gospodarskog razvoja regije. U tom smislu komisija je uz potporu Svjetske banke još 2017. godine pripremila *Zajednički plan aktivnosti za sliv rijeke Save* koji je poslužio kao osnova za izradu *Programa integriranog razvoja koridora rijeka Save i Drine (SDIP)*. Provedba SDIP-a planirana je u dvije, djelomično preklapljene faze, u razdoblju od 10 godina. Program je strukturiran u četiri komponente: (1) integrirano upravljanje i razvoj koridora rijeke Save; (2) integrirano upravljanje i razvoj koridora rijeke Drine; (3) priprema i upravljanje projektom i (4) regionalne aktivnosti.

Regionalna komponenta SDIP-a se u potpunosti financira putem bespovratnih sredstava iz Globalnog fonda za okoliš (GEF), temeljem Sporazuma o dodjeli bespovratnih sredstava potpisanog između Savske komisije i Svjetske banke u kolovozu 2022. godine. Tajništvo Savske komisije je provedbeno tijelo regionalne komponente. Kroz nju se planira priprema niza studija i planova od značaja za cijeli sliv Save: hidrološke studije, strategije prilagodbe na klimatske promjene, studije nanosa, regionalne strategije razvoja održivog turizma, druge faze razvoja Sava FFWS-a, te ažuriranje planova upravljanja riječnim slivom i upravljanja rizicima od poplava, kao i pripremu prvog plana upravljanja nanosom za cjelokupni sliv rijeke Save. Osigurat će se i daljnji razvoj Sava GIS-a kao i ažuriranje *Zajedničke izjave o vodećim principima za razvoj unutarnje plovidbe i zaštite okoliša u slivu rijeke Dunav*, u suradnji sa druge dvije komisije potpisnice izjave: Dunavskom komisijom i ICPDR-om.

SDIP će značajno unaprijediti i ojačati strateški regionalni dijalog, zajedničko planiranje i održivo upravljanje vodnim resursima u slivu rijeke Save, čime će se uvelike pridonijeti i provedbi Okvirnog sporazuma.

ZAKLJUČAK

Kroz djelovanje Savske komisije, kao multilateralnog tijela zaduženog za provedbu Okvirnog sporazuma za sliv rijeke Save, ostvareni su značajni rezultati koji potvrđuju Okvirni sporazum kao dobru osnovu za suradnju država stranaka, kako u području upravljanja vodama tako i u razvoju unutarnje plovidbe. I pored izazova, kao što su nedostatak ljudskih, financijskih i tehničko - tehnoloških resursa, kao i adekvatnih znanstveno

- istraživačkih kapaciteta, države stranke ostaju posvećene suradnji na prekograničnim pitanjima i traženju rješenja za daljnji razvoj regije koja integriraju društvena, okolišna i gospodarska načela. Uz već postignute mjerljive i pragmatične rezultate u prethodnom periodu, u narednim godinama očekuje se daljnji iskorak i intenziviranje suradnje putem zajedničke platforme - Savske komisije, kroz izradu strateških studija i planova te unaprjeđenje sustava (GIS, HIS i FFWS) prvenstveno u okviru provedbe prve faze regionalne komponente SDIP-a ali i kroz ostale vidove suradnje, uz uključivanje širokog kruga najvažnijih dionika u slivu Save.

LITERATURA

- [1] Okvirni sporazum (2002.): *Okvirni sporazum o slivu rijeke Save*, Narodne novine, broj 14/03, Zagreb
- [2] Protokol (2002.): *Protokol o režimu plovidbe uz Okvirni sporazum o slivu rijeke Save*, Narodne novine, broj 14/03, Zagreb
- [3] Protokol (2010.): *Protokol o sprječavanju onečišćenja voda uslijed plovidbe uz Okvirni sporazum o slivu rijeke Save*, Narodne novine, broj 1/10, Zagreb
- [4] Protokol (2012.): *Protokol o zaštiti od poplava uz Okvirni sporazum o slivu rijeke Save*, Narodne novine, broj 8/12, Zagreb
- [5] Protokol (2015.): *Protokol o upravljanju nanosom uz Okvirni sporazum o slivu rijeke Save*, Narodne novine, broj 6/15, Zagreb
- [6] Savska komisija (2019.): *Plan upravljanja rizicima od poplava u slivu rijeke Save*, Međunarodna komisija za sliv rijeke Save, Zagreb
<https://www.savacommission.org/dokumenti-i-publikacije/upravljanje-vodama-2054/plan-upravljanja-rizicima-od-poplava-2348/2348>, 25. rujna 2023.
- [7] Savska komisija (2021.): *Okvir Plana upravljanja nanosom u slivu rijeke Save*, Međunarodna komisija za sliv rijeke Save, Zagreb
https://www.savacommission.org/UserDocsImages/05_documents_publications/water_management/eng/Outline%20on%20Sediment%20Management%20Plan//Outline%20on%20Sediment%20Management%20Plan_Summary%20report_IS-RBC.pdf, 27. rujna 2023.
- [8] Savska komisija (2022. A): *Preliminarna procjena rizika od poplava - ažurirano izvješće 2021.*, Međunarodna komisija za sliv rijeke Save, Zagreb
https://www.savacommission.org/UserDocsImages/05_documents_publications/water_management/eng/SavaFRMPlan//sava_pfra_update2021.pdf, 25. rujna 2023.
- [9] Savska komisija (2022. B): *Drugi Plan upravljanja slivom rijeke Save*, Međunarodna komisija za sliv rijeke Save, Zagreb, <https://www.savacommission.org/dokumenti-i-publikacije/upravljanje-vodama-2054/drugi-plan-upravljanja-slivom-rijeke-save/10459>, 25. rujna 2023.
- [10] Savska komisija (2006./2020.): *Hidrološki godišnjaci*, Međunarodna komisija za sliv rijeke Save, Zagreb
<https://www.savacommission.org/dokumenti-i-publikacije/hidroloski-godisnjaci/2330>, 27. rujna 2023.

- [11] Savska komisija (2022. C): *Izvjешće o provedbi Okvirnog sporazuma o slivu rijeke Save za razdoblje 1. srpnja 2019. - 30. lipnja 2022.*, Međunarodna komisija za sliv rijeke Save, Zagreb
[https://www.savacommission.org/UserDocsImages/04_events/Meetings%20of%20the%20Parties/9th%20MoP/MoP%209_Report%20on%20the%20FASRB%20im-
plementation_hrv.pdf](https://www.savacommission.org/UserDocsImages/04_events/Meetings%20of%20the%20Parties/9th%20MoP/MoP%209_Report%20on%20the%20FASRB%20implementation_hrv.pdf), 25. rujna 2023.

AUTORI

Dragan Zeljko ^a

Jovana Rašeta Bastić ^a

Mirza Sarač ^a

^a Međunarodna komisija za sliv rijeke Save, Kneza Branimira 29/II, Zagreb, 10000, Hrvatska, dzeljko@savacommission.org, jraseta@savacommission.org, msarac@savacommission.org



P.05.

“WATER FUTURE BAVARIA 2050” - THE NEW OVERALL WATER STRATEGY OF BAVARIA

Martin Grambow, Bernhard Simon

ABSTRACT: In Bavaria, almost all water bodies and their catchment areas are subject to serious anthropogenic changes. Over the last centuries, the landscape has been successively developed to the greatest possible extent in terms of the availability of water, and thus to a large extent in terms of the drainage of the landscape. Floods and the associated surface water inundation were the decisive scenario in the past.

Since the 2000s, however, these effects have become increasingly apparent in the landscape water balance. Primary consequences, such as the drying up of rivers and streams or an average annual groundwater recharge deficit, are consequences of this land conversion and are now significantly intensified by the impacts of climate change. Drought is now becoming a very serious scenario for which the landscape is not designed. It is becoming apparent that all components of the water balance are interconnected.

Therefore, the Free State of Bavaria has launched an overall strategy in 2022 with the title “Water Future Bavaria 2050”. This strategy focuses on the two programmes “PRO Waters 2030” and “Water Security 2050”. An overall strategy that holds all stakeholders equally to account and assigns measures to the sectors.

KEYWORDS: Water Future Bavaria 2050, Water strategy, Anthropocene, Climate change

“WATER FUTURE BAVARIA 2050” - NOVA OPĆA VODNA STRATEGIJA BAVARSKE

SAŽETAK: U Bavarskoj su gotovo sva vodna tijela i njihova slivna područja pogođena ozbiljnim antropogenim promjenama. Tijekom posljednjih stoljeća krajolik je uspješno razvijen u najvećoj mogućoj mjeri u pogledu dostupnosti vode, te stoga i u velikoj mjeri u pogledu drenaže područja. Poplave i s njima povezane inundacije površinskih voda bile su u prošlosti dominantan scenarij.

Međutim, od početka 21. stoljeća ti su utjecaji postali sve očigledniji u vodnoj bilanci područja. Primarne posljedice, poput presušivanja rijeka i potoka ili deficita prosječnog godišnjeg prihranjivanja podzemnih voda, rezultat su ove prenamjene zemljišta koja je sada znatno intenzivirana utjecajima klimatskih promjena. Suša postaje vrlo značajan scenarij za što krajolik nije razvijen. Postaje očigledno da su sve sastavnice vodne bilance međusobno povezane.

Stoga je Slobodna država Bavarska 2022. godine uvela opću strategiju pod imenom “Water Future Bavaria 2050”. Ta je strategija usmjerena na dva programa - “PRO Waters 2030” i “Water Security 2050”. Ovom se strategijom svi dionici jednako pozivaju na odgovornost i utvrđuju se sektorske mjere.

KLJUČNE RIJEČI: Water Future Bavaria 2050, Vodna strategija, Antropocen, Klimatske promjene

1. INTRODUCTION

The German state of Bavaria is characterised by hydrologically quite different landscapes. The region of Lower Franconia is considered to have relatively low precipitation (approx. 450 mm in dry years like 2018), while the south, especially the alpine region, has high precipitation with up to 1800 mm annual precipitation (DWD, 2023). Due to these differences, the Free State of Bavaria began planning and implementing a large water transfer system in the years after 1960 in order to better supply the drier north with water from the Danube. Currently, however, almost all regions in Bavaria are affected by a decline in rainfall. This also applies to the Alpine region. The consequences can be seen in agriculture, fisheries, forestry, hydropower and, above all, in ecosystems. A steady increase in efficiency in agriculture and forestry has been accompanied by a loss of resilience to extreme events. As public drinking water supplies are now being put under pressure and, at the same time, agriculture is requiring more water for irrigation purposes due to the accumulation of extreme events, conflicts are increasingly arising locally that have to be solved. Now, due to ever more rapidly and dramatically changing boundary conditions, water management and government action must also develop along with it.

2. THE ANTHROPOCENE AND ITS TYPICAL SIGNS

The effects of climate change only partly explain the effects in water management. In particular, land use changes, as well as other large-scale anthropogenic influences on the environment or ecosystems, are suspected of contributing to these changes. Paul Crutzen, who scientifically introduced the model of the Anthropocene, described this as “over-shaping of the Earth system by humans with the help of their powerful technology” (Crutzen, 2002), i. e. ultimately a result of their powerful minds. Thus, man has not only adopted the responsibility for his own actions, but also the system responsibility for the entire earth. Nature is no longer, as in Sophocles’ time (*Antigone*), the all-superior and thus also correcting power. However, Sophocles’ law still applies in part with the statement: Whoever violates the rules of this nature will be punished. The term “Anthropocene” refers first and foremost to the period of time in which humans have significantly shaped their environment. In addition, the term is also used to describe a state or the effects of ubiquitous human activity in a holistic context.

“It seems appropriate to assign the term ‘Anthropocene’ to the present, in many ways human-dominated, geological epoch, supplementing the Holocene – the warm period of the past 10 – 12 millennia.” (Crutzen, 2002) If one accepts the mechanisms of the Anthropocene, however, this also results in a highly efficient model for a better and more reflective understanding of postmodern processes (Grambow et al., 2020). Based on this

understanding, three typical manifestations of the Anthropocene appear (Grambow et al., 2023).

2.1. Primary triggers and consequences

Primary triggers and consequences, i. e. these are usually actions with direct consequences. In particular, these are the emissions of chemicals on site, the modification of the landscape and its characteristics (including the cultivation of peatlands, which created arable land but reduced wetlands) or the reduction of animal and plant species from the habitats.

2.2. Secondary triggers and consequences

Secondary consequences and triggers that arise from the sum of the primary ones on a supra-regional and eventually global scale and can also influence each other. The most prominent example of this is climate change, but also the worldwide spread of DDT and mercury, the extinction of species and global injustices, which in turn can induce consequences or critical system changes (including heat waves, drought and floods, reduction of ecosystem resilience, social crises, etc.). Rockström describes this in the result and on a global scale with his model of Earth system boundaries (ESBs). According to the current publication, seven out of eight globally quantified safe and equitable ESBs and at least two regional safe and equitable ESBs have already been exceeded in more than half of the global land area. (Rockström et al., 2023)

2.3. Findings, limits and approach to adaptation

Limits to what is known can be considered as a relevant “immaterial” consequence. There are substantial intrinsic uncertainties due to a lack of system knowledge and understanding (“No one knows exactly how climate change will continue, no one knows exactly what will happen in the soil matrix, among other things, when more living beings extinct”). Despite this lack of understanding and knowledge, further changes with incalculable consequences are currently being implemented and more are planned. In the long term, this can only be accompanied by irreversible consequences that are difficult to correct. Despite growing knowledge, new “facts” are being created which, on closer examination, are not new but only newly recognised. The actual new conditions that arise through human influence or the effects of the system can in turn feed back with completely different factors. Also referred to as panhierarchical coupling of adaptive subsystems (Wilderer et al., 2022). The secondary effects of the Anthropocene, especially climate change and species extinction, are widely considered to be dangerous. The sensible response to these or comparable changes is reflected in two courses of action:

On the one hand, we have to adapt quickly to the changes so that our system does not falter in the short term. But beyond that, we have to make the adjustments and change the primary factors to such an extent that the system can stabilise itself again (increase resilience). In other words: We must use our technology and our intellect in such a way that we identify the “danger or risk areas” and withdraw from them to such an extent that the stabilising power of nature (and creation) can regulate the systems again. Approaches to this include the EU’s Green Deal strategy, global efforts to ban certain critical chemicals (e.g. DDT) and global efforts to limit global warming, such as the UN Conference of the

Parties (COP) and the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) world climate reports. In particular, however, the reaction time of the systems must be considered in all adaptive measures and actions. The response time in the water sector as an adaptation to decreasing water availability can only be expected to be very short.

3. THE CURRENT WATER SITUATION IN BAVARIA

In general, there was a common impression that 2023, with its ever-present rainfall phases, would be a rather wet year. In fact, however, the figures show that at mid-year, 68 percent of the groundwater levels on the upper floors and 52 percent of the lower floors were again at low or very low levels (see Figure 1 for the status in July 2023, Low Water Report July 2023, LfU). In a year-on-year comparison, the groundwater situation is thus at the same dramatic level as in the last year 2022. Surface waters react much faster to precipitation events. In 2023, especially in June, there was a drought phase throughout Bavaria, which subsequently affected groundwater recharge and ecosystems. Climate change also appears to be recognisable here. Unlike the pure modelling of scenarios, such as groundwater recharge, however, it is not only the long-term trends that need to be considered, but extreme events in particular. Because if these accumulate, acute crisis situations can arise that cannot be concluded from the long-term forecasts alone. Due to the dry years 2018, 2019, 2020 and 2022, an exceptional accumulation can be observed, which also affects water users and fires up the social discussion. The water situation in Germany and Bavaria is no exception and still shows itself to be relatively moderate in comparison to Western Europe.



Figure 1. Course of the percentages of low groundwater levels in Bavaria over the last two years (LfU Bayern, 04.07.2023)

4. THE OVERALL STRATEGY: “WATER FUTURE BAVARIA 2050”



Figure 2. Presentation of essential parts of the overall strategy “Water Future Bavaria 2050” (StMUV, 2023)

Floods have always been on the programmatic agenda in Bavaria. But since the dry years after 2003, drought has increasingly moved into the focus in water management. Climate change is the most noticeable consequence of man-made changes in our world. These changes are now having a noticeable and unmistakable impact on everyone’s daily lives. The “Water Future Bavaria 2050” is the integral strategy of the Bavarian water management administration for the medium to long-term management of our water resources, which derives adaptation measures for the so far foreseeable consequences of climate change and other change factors. It comprises the four strategic areas of water security (drought and dryness), flood protection, ecology and social service.

4.1. The program of action: “PRO Waters 2030”

The implementation of the holistic approach in river engineering was carried out by the Bavarian Water Management Administration as a further development of earlier (construction) programs. The basis for this is formed by further legal developments, in particular by the European Water Framework Directive and the EU Flood Risk Management Directive. Thus, flood protection approaches have been continuously developed, adapted and expanded with the experience gained from the major flood events since 1999. Approaches of systems engineering, resilience, risk management, the implementation of the sustainability principle with the significantly stronger weighting on ecology (EU Water Framework Directive), the extension besides the flood issue at water bodies especially to flash floods were all taken into account. Finally, the surface waters are to be embedded in the sense of the “PRO Water 2030” as part of the overall water balance and thus to be understood as part of a holistic overall strategy of the „Water Future Bavaria 2050“. This means that not only floods may be the determining load case, but also drought and thus low water scenarios. Overall, it can be stated that the requirements for planning at water

bodies and water body management must meet significantly higher standards than 20 years ago. This applies to more extreme runoff phases, which also calls previous dimensioning standards into question, as well as to societal demands. (Grambow et al., 2023) It is planned within the scope of “PRO Waters 2030” to invest around 200 million euros annually in flood protection and ecological watercourse development in Bavaria by 2030.

4.2. The program of action: “Water Security 2050”

The program “Water Security 2050” covers a comprehensive range of aridity and drought management tasks. The focus is on securing the public water supply, reducing wastewater pollution, improving the regional water balance and the climate-resilient development of our villages and cities. Together with all actors and stakeholders (from the state, municipalities, associations, universities, others), projects and measures in nine thematic areas are planned, implemented and evaluated in an effort to, for example

- improve basic services of general interest, which include a safe supply of drinking water (social service)
- review and adapt technical water infrastructures (e. g. local public water supply, long-distance water supply, wastewater treatment plants, reservoirs and pipelines)
- strengthen the regional water balance and – where necessary – make irrigation sustainable and environmentally compatible
- to promote the development of urban areas according to the “sponge city” principle
- Ensure water and water-dependent environmental quality even under stress conditions

The essential components of the programme are described further in the following (ST-MUV, 2023).

Drinking water supply: Decentralised structure, regional network and upgrading of the long-distance water supply system

The public drinking water supply in Bavaria must also be ensured in the future, especially taking into account the consequences of climate change in Bavaria. The focus is on local public drinking water supply. This is to be supported and lastingly secured by inter-municipal associations and supra-regional supply structures. Groundwater is the most suitable drinking water resource, as it generally complies with the quality requirements for drinking water without further technical treatment. In times of increasing water demand and at the same time increasing scarcity, the safe supply of drinking water for the supply of the population with drinking water is of particular importance. Groundwater should therefore preferably be used for drinking water supply.

Territorial groundwater and drinking water protection

Water protection areas (WSG) represent the important and urgent protection of water resources for drinking water extraction. In Bavaria, the size of a water protection area is determined by classifying the catchment areas into three risk levels according to their sensitivity. The technical and legal requirements for drinking water protection are revised according to the latest findings. The existing protection areas are adapted accordingly to the generally recognised rules of technology. This requires corresponding legal proceedings at the lower water law authorities.

Trace substances, pollution and wastewater

In conventionally treated urban wastewater, non-degradable, stable trace substances remain, which can enter water bodies and thus have a negative impact on water body ecology and the use of water for drinking water production. For the protection of the aquatic environment and the long-term preservation of the security of water supply with clean and healthy drinking water, the modernisation of certain wastewater treatment plants with 4th purification plants for the elimination of trace substances is a central management objective. The input of nutrients into water bodies with low discharge must be further reduced in some places. For this reason, further measures to reduce phosphorus and nitrogen inputs are also planned for wastewater treatment plants. In addition, the discharge of degradation-stable trace substances should be kept as low as possible through appropriate measures in the production and use of trace substance-relevant products, e. g. through a mostly closed water cycle in the production process.

Optimising water reservoirs and transfer systems

Pronounced dry periods have highlighted the need for low-water reservoirs and strongly validated the reservoirs that had already been put into operation (Förmitzalsperre and Rottachsee) as well as the Danube-Main transfer system that spans the entire river basin. 15 of the 25 state water reservoirs also serve to raise low water levels in order to ensure sufficient water flow and thus, in particular, to secure the habitat of fish and other aquatic life, to enable the use of the water bodies and to strengthen their social function. The improvement of the existing water reservoirs as well as the transfer system are constantly being pushed forward by the water management administration.

Sustainable agricultural irrigation structures

Due to climate change and growing demands on agriculture (e. g. yield and quality preservation, increase in cultures requiring irrigation), an increased need for irrigation is to be expected in Bavaria in the future. For this reason and due to falling groundwater levels, water for irrigation will not always and everywhere be available in sufficient quantity or quality in Bavaria either. In addition to saving water and increasing the use of drought-adapted crops, sustainable irrigation structures must be developed and efficient irrigation methods established. The fundamental leadership with regard to land use and the demand and use aspects of agriculture, and thus for the transformation processes towards sustainable agricultural irrigation, is the responsibility of the agricultural administration. The water management administration supports this development with expertise on water resources and in the form of pilot projects.

Improving the regional water balance

Despite all the technical storage possibilities, pipelines and transfer systems, no technical achievement can even come close to replacing the natural water storage (landscape, water bodies, soil, moor) in terms of volume. An intact natural water balance in the landscape stores and infiltrates precipitation, cushions discharge peaks in streams and ditches, recharges groundwater and stabilises the water balance in times of drought.

Implementation of water-sensitive settlement development (incl. sponge cities)

Seeping rainwater directly on site or storing it like a sponge instead of immediately draining it off is the way to better deal with heavy rain, heat and drought in the future, even in urbanised areas. This requires a rethinking of urban development. The goal must be to preserve the natural water balance. This requires decentralised rainwater management with infiltration-capable surfaces, extensive rainwater retention through greening of buildings and rainwater storage tanks, swales with evaporation and infiltration, and the use of stored rainwater instead of the quickest possible discharge. This improves safety, quality of life and biodiversity in residential areas.

Modern monitoring networks and management systems

The monitoring and management systems of Bavarian water management provide the basis for the sustainable management of water resources and adaptation measures as well as for warning and alarm plans and information services using measurement data on water balance and water quality as well as models. Future developments must be integrated on the basis of current research results, and the low-water information service and low-water management systems must be further expanded. Adaptation and further development of monitoring and models as well as the consolidation of monitoring sites and measurement data in the area are necessary for this. The monitoring results on groundwater and surface water also influence the planning of measures in the sense of the European Water Framework Directive and the preparation of management plans.

Fiscal and legal measures

Adjustments in the water sector require long periods of time and therefore, on the one hand, a clear legal regulatory framework. In addition, sufficient and reliable resources in the long term are crucial for implementation and maintenance. Among other things, the water management administration is developing a concept for the introduction of a water charge (“water cent”) and is preparing the introduction of a digital water database (digital water book) for the documentation of water management legal relationships at water bodies (surface water and groundwater).

CONCLUSION

The knowledge from the understanding of the Anthropocene and the changes in the water sector challenges all water users to seek and find a new evolved way. Water is the basis of all life and social prosperity. Economic and social conflicts are already taking place in Europe and also in Bavaria. Based on the experience of about 200 years of water management in Bavaria, international cooperations, scientific findings, continuous further developments and finally in the course of the more and more apparent consequences of climate change, a new overall strategy “Water Future Bavaria 2050” was developed by the Bavarian Water Management Administration and adopted by the Bavarian State Government in 2022. In the process, all components of the water balance are named, responsibilities assigned and measures defined. In the past, purely sectoral solutions have not led to systemically resilient developments. These systems are now reaching their limits with more and more extreme events, placing an increasing burden on society. With this overall

strategy, all water users as part of the water balance management should contribute to the preservation of water budgets and ecosystems and their resilience, and thus, also to the pacification of the conflicts that are arising.

REFERENCES

- [1] Bayerisches Landesamt für Umwelt (2023), *Niedrigwasserbericht zum 04.07.2023*, <https://www.nid.bayern.de/lage/archiv/191> (last downloaded 14.09.2023)
- [2] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, (2023): Website of „*Water Future Bavaria 2050*”, https://www.stmuv.bayern.de/themen/wasserwirtschaft/wasserzukunft_bayern_2050/index.htm (last downloaded 14.09.2023)
- [3] Crutzen, P. (2002): *Geology of man kind*, Nature 415, page 23, Springer Nature Limited, London
- [4] Deutscher Wetterdienst (DWD), (2023): *DWD Climate Data Center*, <https://cdc.dwd.de/portal/202209231028/mapview>, (last downloaded 14.09.2023)
- [5] Grambow, M., Simon, B., Rimböck, A. (2023): *Der Wasserbau der Zukunft in Bayern als holistische Weiterentwicklung aufgrund sich rasch wandelnder Randbedingungen*, Tagungsband 1, 21. Wasserbau-Symposium der Wasserbauinstitute TU München, TU Graz, ETH Zürich , page 97, TU München
- [6] Grambow, M., Feustel, M., Manz, E., Arzet, K., Hafner, T., Korck, J. (2020): *Die Wasserpolitik im Anthropozän*, Korrespondenz Wasserwirtschaft Nr. 7, page 356, GFA, Hennef
- [7] Grambow, M., Simon, B. (2023): *Wasserwirtschaft im Anthropozän*, Tagungsband zum Sommerkolloquium 2023 Wassergerechtigkeit, Hanns-Seidel-Stiftung, München
- [8] Rockström, J., et al., (2023): *Safe and just Earth system boundaries*, www.nature.com, <https://www.nature.com/articles/s41586-023-06083-8> (last downloaded 14.09.2023)
- [9] Wilderer, P.; Grambow, M.; Molls, M., Konrad Oexle (2022): *Strategies for Sustainability of the Earth System*, page 171, Springer Nature Switzerland

AUTHORS

Martin Grambow, Prof. Dr.-Ing. ^a

Bernhard Simon ^a

^a Bavarian State Ministry for the Environment and Consumer Protection, Rosenkavalierplatz 2, 81925 München, Germany, Martin.Grambow@stmuv.bayern.de, Bernhard.simon@stmuv.bayern.de



TEMA 1.

**STANJE VODA I O VODI OVISNIH
EKOSUSTAVA, HIDROLOŠKI EKSTREMI
I NJIHOVE POSLJEDICE, TRENDVI -
OBORINE, KOPNENE POVRŠINSKE VODE,
PODZEMNE VODE, PRIJELAZNE VODE
I PRIOBALNO MORE**

Recenzenti:

**Darko Barbalić, Danko Biondić, Ranko Biondić, Mitja Brilly, Tamara Brleković,
Irena Ciglencečki - Jušić, Ksenija Cindrić Kalin, Marko Čaleta, Miroslav Golub,
Marko Josipović, Slaven Jozić, Damir Kapetanović, Željko Linšak, Jure Margeta,
Tamara Marković, Zoran Nakić, Nevenka Ožanić, Dijana Oskoruš, Maja Oštrić,
Željko Pavlin, Stevan Prohaska, Josip Rubinić, Lidija Tadić, Dušan Trninić,
Tatjana Vlahović, Sonja Zlatović**



R 1.01.

SIGURNOST I OČUVANJE VODE POD UTJECAJEM KLIMATSKIH PROMJENA

Elvis Žic, Nevenka Ožanić, Marta Marija Bilić

SAŽETAK: Voda je ključni temelj cjelokupnog života na Zemlji i od ogromne je društvene, ekološke i ekonomske važnosti. Kao zemlja s velikom količinom vode, Hrvatska prepoznaje da je održivo, odgovorno upravljanje vodnim resursima ključno za razvoj prosperitetnog gospodarstva otpornog na klimu. Voda je izrazito važan resurs za većinu ključnih sektora gospodarstva, posebice za proizvodnju, poljoprivredu, hranu i piće, turizam i energiju. Uzrok porasta prosječne globalne temperature i razine mora treba tražiti u mnogim čimbenicima poput veličine i strukture stanovništva, stupnja urbanizacije, stope i vrste gospodarskog rasta, vrstu i opseg korištenja energije, poljoprivredne prakse i proizvodnju, nacionalne politike, tehnološki razvoj te njegovu stopu i opseg. Ovaj rad promatra i analizira upravo te čimbenike.

Povećanje količine potrošene hrane i energije zahtijevat će u budućnosti učinkovitije upravljanje vodom u lancu proizvodnje i distribucije. Trenutno se oko 70 % svjetske vode koristi za poljoprivredu, 20 % se koristi u industriji, a 10 % u kućanstvima. Poljoprivredna proizvodnja može se znatno poboljšati uz manju upotrebu vode, dok se kućne i industrijske otpadne vode mogu sakupljati, filtrirati i ponovno koristiti. Članak opisuje što se može postići za osiguranje sigurnosti vode u Hrvatskoj. Ujedno, proučava opasnosti i neizvjesnosti povezane s klimatskom politikom i očuvanjem vode u kontekstu sigurnosti vode.

KLJUČNE RIJEČI: Sigurnost vode, Klimatske promjene, Učinkovitost korištenja vode, Kućanstvo, Industrija, Poljoprivreda

WATER SECURITY AND CONSERVATION UNDER THE INFLUENCE OF CLIMATE CHANGES

ABSTRACT: Water is the key foundation of all life on Earth and is of enormous social, ecological and economic importance. As a country with abundant water, Croatia recognizes that sustainable, responsible management of water resources is essential for the development of a prosperous, climate - resilient economy. Water is an extremely important resource for the majority of key economic sectors, especially industry, agriculture, food production, tourism and energy generation. The cause of the increase in the average global temperature and sea levels should be looked for in many factors, such as the size

and structure of the population, urbanization level, rate and type of economic growth, type and extent of energy use, agricultural practices and production, national policy, technological development and its rate and extent. This paper observes and analyzes precisely these factors.

The increase in the amount of consumed food and energy will require more efficient water management in the production and distribution chain in the future. Currently, about 70 % of the world's water is used for agriculture, 20 % is used in industry and 10 % in households. Agricultural production can be significantly improved with less water use, while domestic and industrial wastewater can be collected, filtered and reused. The article describes what can be achieved to ensure water security in Croatia. At the same time, it examines the risks and uncertainties related to climate policy and water conservation in view of water security.

KEYWORDS: Water security, Climate change, Efficiency of water use, Household, Industry, Agriculture

1. UVOD

Sigurnost vode i klimatske promjene samo su dva najveća problema s kojima se čovječanstvo danas suočava. No, u svijetu postoje i mnogi drugi ozbiljni problemi. Možda je najvažniji problem rastuće globalno stanovništvo. Trenutno svjetsko stanovništvo iznosi približno 7,85 milijardi i vjerojatno će se povećati na 9,7 milijardi do 2050., odnosno 11 milijardi do 2100. Godine 2019. 55,7 % stanovništva živjelo je u urbanim područjima, a predviđa se da će taj udio porasti na 68 % do 2050. i 85 % do 2100. (United Nations Population Division, 2019.). Globalno stanovništvo će se sve više koncentrirati u urbanim središtima i oko njih. To će dovesti do sve većeg i ozbiljnog pritiska da se pouzdano osigura niz osnovnih ljudskih potreba kao što su hrana, energija, voda, drugi prirodni resursi, okoliš, javno zdravlje, medicinske i sve druge vrste socijalnih usluga, stanovanje, korištenje zemljišta, promet i mnoga druga povezana pitanja.

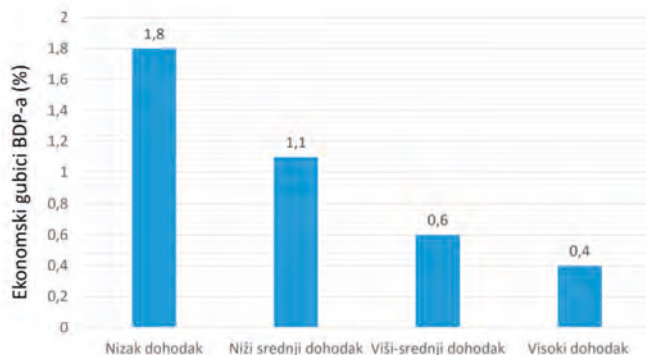
Rastuće stanovništvo i zahtjevi za sve većim standardom i kvalitetom života dovode do povećanja hrane, energije i drugih materijala, što zahtijeva održivo i sve učinkovitije upravljanje proizvodnjom, opskrbom i korištenjem vode. Mnogi od ovih razvoja mogli bi značiti da bi više stakleničkih plinova moglo biti ispušteno u atmosferu, što bi moglo pridonijeti globalnom zatopljenju i dovesti do klimatskih promjena.

2. SIGURNOST VODE

Ministarska deklaracija tijekom Drugog svjetskog foruma o vodama u Haagu, u ožujku 2000., opisala je sigurnost vode kao „osiguravanje zaštite i unapređenja slatkovodnih, obalnih i drugih ekosustava, poboljšanje razvojne održivosti i političke stabilnosti, te pružanje svakoj osobi dovoljno sigurne vode za produktivan život”. Osim toga, deklaracija je opisala ranjivo stanovništvo kao izloženo opasnostima od opasnosti povezanih s vodom.

Klimatske promjene već ozbiljno utječu na svijet. Na slici 1. prikazane su procijene ekonomskih gubitaka zbog katastrofa povezanih s klimom kao postotak BDP-a za zemlje s različitim razinama dohotka između 1998. i 2007. godine. Jasno se vidi da su ekonomski

gubici kao postotak BDP-a puno veći u zemljama s niskim dohotkom nego u zemljama s visokim dohotkom, gotovo 4,5 puta veći. Zemlje s niskim dohotkom ne samo da se suočavaju s većim i raširenijim gubicima, već imaju i manje resursa, upravljanja i administrativne stručnosti, manji pristup prilagodbi i korištenju tehnologije te nedostatne institucionalne kapacitete.



Slika 1. Ekonomski gubici zbog katastrofa povezanih s klimom kao % BDP-a, 1998.-2007. Izvor: modificirano iz Wallemacq i House (2018.)

Mnogo stvari u konačnici pridonosi definiciji vodne sigurnosti. Tu svakako treba uključiti veličinu i strukturu rasta stanovništva, stopu i opseg urbanizacije, klimu, tlo i iskorištavanje zemljišta, institucionalne i upravljačke sposobnosti uključenih institucija, razinu održive političke zabrinutosti u vezi s vodom, ekonomske i bihevioralne aspekte upravljanja vodama, kao i stavove i percepcije drugih pitanja vezanih uz vodu. Štoviše, visoki kreatori politika u gotovo svim zemljama povijesno su vodu rijetko postavljali kao dugoročni prioritet u svojim političkim programima, što je otežavalo sigurnost vode za gotovo sve zemlje (Biswas i Tortajada, 2019.).

2.1. Sigurnost vode za kućanstvo

Budući da ljudski opstanak ovisi o odgovarajućoj opskrbi vodom za kućanstvo, ovo je nedvojbeno najvažnije društveno-političko razmatranje u bilo kojoj zemlji. Naime, 28. srpnja 2010. Opća skupština Ujedinjenih naroda izričito je priznala ljudska prava na vodu i sanitarne uvjete, ocijenivši da je čista pitka voda nužna za ostvarivanje svih drugih ljudskih prava. Međutim, rezolucija se ne bavi vodom za industriju i poljoprivredu (Brooks, 2008).

Složenost osiguranja vodne sigurnosti može se razumjeti jednostavnim razmatranjem nekoliko temeljnih pitanja sadržanih u prethodno navedenim definicijama. Na primjer, što točno znači imati „odgovarajuću količinu i kvalitetu” vode za zdrav i produktivan život pojedinca? Na prvi pogled ovo se čini kao prilično jednostavno pitanje o kojem većina ljudi ne razmišlja i ne obraća pozornost. Zapravo, ovo je pitanje dosta komplicirano i teško je dati pravi odgovor.

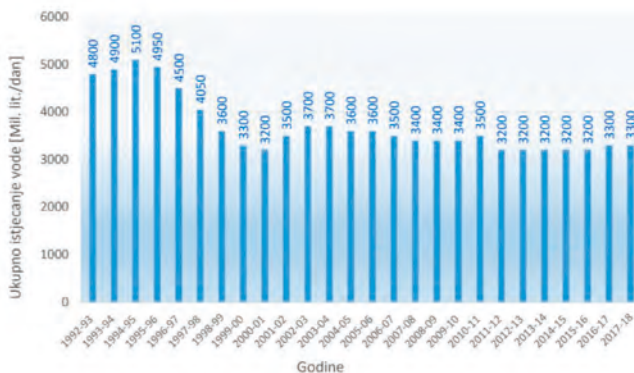
Osnovne potrebe za vodom za preživljavanje po osobi iznose oko 4 l/dan. Međutim, potrebe za preživljavanjem uvelike se razlikuju od vode potrebne za zdrav, produktivan

život. Neki aktualni podaci i trendovi upućuju na to da Singapur troši oko 75 litara vode po stanovniku dnevno, a rezultati se već sada mogu odnositi i na druge dijelove svijeta. Procjene najnovijih podataka o dnevnoj potrošnji vode po glavi stanovnika u europskim gradovima pokazuju da je 70-80 litara dovoljno da osoba vodi zdrav i produktivan život (Biswas i drugi, 2021.). Čini se da te razine korištenja vode nemaju negativan utjecaj na zdravlje njegovih stanovnika. Od 2000. godine, španjolski gradovi poput Barcelone, Zaragoze, Valencije, Seville i Murcije bilježe stalni pad dnevne potrošnje po glavi stanovnika (Sauri, 2019.). Za te gradove to je trenutno manje od 100 litara. Dnevna potrošnja vode u Tallinnu po glavi stanovnika trenutno je ispod 90 litara (PwC, 2019.).

Za većinu zemalja, ukupni trend u korištenju vode po stanovniku posljednjih je godina bio silazni. To uključuje zemlje kao što su SAD, Australija, Japan, sve europske zemlje i Singapur. Međutim, ovaj pad nije opći trend. Potrošnja vode po glavi stanovnika raste u nekim zemljama i gradovima diljem svijeta, poput Katara i Phnom Penha u Kambodži (Biswas i drugi, 2021.). Potrošnja vode po glavi stanovnika u Kataru je u stalnom porastu u posljednjih pet godina (trenutno iznosi 590 litara po stanovniku) što predstavlja jednu od najvećih dnevnih stopa potrošnje vode u kućanstvu u bilo kojem urbanom središtu svijeta (Biswas i Tortajada, 2019.).

Količina izgubljene vode iz vodoopskrbnog sustava zbog curenja, pucanja cijevi, neovlaštenih priključaka i drugih razloga vrlo je važna za sigurnost vode. Ovaj gubitak je često prilično visok. U zemljama kao što su Indija, Meksiko, Nigerija i Šri Lanka, nije neuobičajeno da mnogi gradovi izgube više od 50 %. Neobračunati gubici vode od 35 % ili više uobičajeni su u velikom broju gradova u zemljama u razvoju, pa čak i u pustinjskim zemljama Bliskog istoka s oskudicom vode (PwC, 2019.).

Čak i u visoko razvijenim zemljama poput SAD-a i Kanade, sveobuhvatna studija o stopama kvarova cjevovoda otkrila je porast od 26 % u stopama kvarova između 2012. i 2018. (Folkman, 2018.). Za cijevi od lijevanog željeza i azbest cementa (otprilike 41 % instaliranih cijevi u ove dvije zemlje), stopa loma porasla je za više od 40 % tijekom gore navedenog 6-godišnjeg razdoblja. U SAD-u se svake godine izgubi više od 8 milijardi litara vode, što čini otprilike 14 - 18 % cjelokupne prerađene vode. Privatne tvrtke za vodu u Engleskoj i Walesu gube oko 3,17 milijardi litara dnevno zbog curenja, što je gotovo 21 % njihove ukupne proizvodnje (PwC, 2019.). Napredak u smanjenju oštećenja u Engleskoj i Walesu uvelike je zastao tijekom posljednja dva desetljeća iz više razloga (Slika 2.).



Slika 2. Pregled gubitaka vode (curenje) u Engleskoj i Walesu. Izvor: PwC, 2019.

Stoga, temeljno pitanje koje kreatori politike i vodna industrija u cjelini nisu postavili, a kamoli na njega odgovorili, jest treba li kod procjena sigurnosti vode u budućnosti uzimati u obzir vrlo značajne gubitke ili bi buduće procjene trebale uzeti u obzir niske razine sigurnosti vode (PwC, 2019.; Tortajada i Van Rensburg, 2019.). Na primjer, gradovi poput Tokija sada gube samo 3,9 % vode, što je jedan od najboljih rezultata u svijetu. U Singapuru je gubitak oko 5 %. Pitanje na koje stručnjaci za vode i kreatori politike trebaju odgovoriti je trebaju li procjene sigurnosti vode uzeti u obzir dnevnu potrošnju vode prosječnog građanina po glavi stanovnika od 70 - 80 litara, kao što je trenutno slučaj u mnogim europskim urbanim središtima, ili tek u budućnosti? Ovisno o odluci, potrebe za vodom za osiguranje socijalne sigurnosti znatno će varirati.

2.2. Sigurnost vode za industrijski sektor

Mnogo je čimbenika koji u konačnici osiguravaju sigurnost vode u industrijskom sektoru. Kroz bolje prakse upravljanja, usvajanje isplativih novih tehnologija dostupnih za poboljšanje proizvodnih procesa i prepoznavanje potreba industrijskog sektora za vodom od strane izvršnih direktora može se uvelike smanjiti ako njihove tvrtke žele preživjeti i napredovati u usporedbi s trenutnom situacijom.

Iako se na globalnoj razini postotak industrijske potrebe za vodom povećava posljednjih desetljeća, potražnja za vodom po jedinici industrijske proizvodnje nekih poduzeća, posebice multinacionalnih, posljednjih desetljeća opada. Voda i energija dva su apsolutno bitna zahtjeva za rad bilo koje industrije bilo gdje u svijetu. Također su blisko povezani. Za proizvodnju energije potrebna je snaga vode, a za proizvodnju kvalitetne pitke vode je potrebno uložiti odgovarajuću energiju. Poboljšanje učinkovitosti proizvodnje i korištenja jedne će imati pozitivan učinak na drugu.

Multinacionalne i nacionalne tvrtke koje su uvidjele važnost sigurnosti vode i klimatskih promjena za neometano funkcioniranje svojih poslovanja počele su shvaćati da za vlastiti dugoročni opstanak i razvoj moraju razmotriti sveobuhvatan pristup koji u potpunosti uzima sigurnost vode i utjecaj klimatskih promjena. Stoga su krenuli u kontinuirano poboljšanje učinkovitosti korištenja svih resursa potrebnih u proizvodnom procesu, uključujući i vodu.

Od ranih 2000-ih, mnoge velike multinacionalne korporacije počele su preispitivati obrasce korištenja vode i prakse upravljanja unutar svojih proizvodnih pogona. Također, pokazuju povećani interes za prakse korištenja vode u svojim opskrbnim lancima. Ove trajne prednosti rezultirale su znatnim uštedama vode u procesu proizvodnje, kao i zahtjevima za vodom za sirovine potrebne za proizvodnju različitih proizvoda. Tvrтка poput Nestléa, jedna od 100 najvećih kompanija na svijetu, dobar je primjer za ilustraciju gornje tvrdnje. Između 2005. i 2013. tvrtka je značajno smanjila izravno crpljenje vode prema raznim kategorijama proizvoda. Tijekom tog razdoblja tvrtka je uspjela smanjiti svoju ukupnu potrošnju vode po toni proizvoda za 33,3 % (Brabeck-Letmathe, 2016.; Nestle, 2020.). Između 2003. i 2013. količina ispuštene otpadne vode po toni proizvoda dodatno je smanjena za 60,1 %. Usputno, Nestlé je 2013. godine reciklirao ili ponovno upotrijebio 6,7 milijuna m³ vode, dodatno smanjujući svoj vodeni otisak.

Od 2005. mnoga velika međunarodna i domaća industrijska poduzeća također su smanjila svoj vodeni otisak i kvantitativno i kvalitativno te prakticirala kružno gospodarstvo u smislu korištenja vode. Neke od multinacionalnih tvrtki sa slično dobrim rezultatima upravljanja vodom u posljednjih 15 godina uključuju Unilever, Coca-Colu, PepsiCo, Procter & Gamble, Nike, General Mills i Givaudan. Velika industrijska poduzeća sada sve više prihvaćaju trofazni proces upravljanja vodom. U prvoj fazi tvrtka rigorozno procjenjuje sve aspekte svog trenutnog proizvodnog procesa kako bi vidjela gdje postoje mogućnosti za smanjenje potrošnje vode. Druga faza uključuje odgovarajuću obradu otpadnih voda koje stvara tvornica kako bi se mogle ponovno koristiti u različite svrhe unutar tvornice, dok se u trećoj fazi razmatra korištenje gotovih, nekonvencionalnih tehnologija za izdvajanje vode iz sirovina koje tvornice koriste za izradu proizvoda (Tortajada i Van Rensburg, 2019.).

Postoje najmanje tri važna razloga zbog kojih velike korporacije postupno poboljšavaju svoje prakse i procese upravljanja vodom, što može pomoći u ispunjavanju njihovih zahtjeva za sigurnošću vode. Prvo, sve su svjesniji rizika nemogućnosti pouzdanog dobivanja vode u dovoljnoj količini i kvaliteti kako bi njihovi dobavljači mogli nabaviti sirovine koje su njihovim pogonima potrebne za proizvodnju potrebnih proizvoda, a zatim imati dovoljnu kvalitetu vode za proizvodnju potrebnih proizvoda. Drugo, dobro upravljanje vodom postalo je pitanje reputacije za velike tvrtke. Tu treba kao treći razlog uzeti u obzir i poreze. Tijekom prošlog desetljeća način na koji tvrtke pristupaju ekonomskim, društvenim i upravljačkim pitanjima postao je sve važniji čimbenik za ulagače. To znači da način na koji koriste vodu i energiju postaje sve učinkovitiji, količina proizvedene otpadne vode postupno će se smanjivati, a ponovna uporaba i recikliranje postupno će postati norma. Osim toga, otpadna voda može se pročišćavati na višoj razini i ponovno koristiti unutar postrojenja. Svi ovi razvoji pomoći će industriji da postupno postane sigurnija, jer će potreba za zahvaćanjem vode iz prirodnih resursa u budućnosti biti sve manja.

2.3. Korištenje vode za poljoprivredni sektor

Poljoprivreda je trenutno najveći korisnik vode, na koju otpada oko 70 % ukupne globalne potrošnje vode. Posljednjih godina udio potrošnje vode u poljoprivredi u ukupnoj potrošnji vode opada, iako potražnja za vodom u poljoprivredi i dalje raste. Međutim, činjenica je da je boljom praksom upravljanja i razvojem učinkovitijih tehnologija

moguće proizvesti velike količine poljoprivrednih proizvoda s puno manje vode. Poljoprivreda koristi vodu neučinkovito, često i u većini visokorazvijenih zemalja (Biswas i Tortajada, 2019.; Brabeck-Letmathe, 2016.; PwC, 2019.).

Otprilike od 2010. Kina je postigla značajan napredak u praksama gospodarenja vodom u poljoprivredi koje su povećale ukupnu poljoprivrednu proizvodnju, ali količina vode koja se koristi po hektaru navodnjavanog zemljišta stalno je opadala. Između 1990. i 2012. ukupna poljoprivredna upotreba vode u zemlji porasla je samo neznatno, sa 374 na 388 milijardi m³ godišnje (povećanje od oko 4 %), dok se korištena voda po hektaru navodnjavanog zemljišta smanjila za 22 % (Doczi i drugi, 2014.).

Sve prakse i procesi povezani s korištenjem vode i poljoprivrednom proizvodnjom postat će sve učinkovitiji kroz povećana ulaganja, institucionalne promjene te poboljšano i trajno usvajanje najnovijih tehnoloških dostignuća, uključujući informacijsku tehnologiju, umjetnu inteligenciju i analitiku podataka. Druge zemlje mogu i trebaju slijediti primjer Kine u budućnosti i značajno smanjiti korištenje vode u poljoprivredi. Ovim mjerama značajno će se smanjiti potreba za vodom za poljoprivrednu proizvodnju, čime će se poboljšati sigurnost vode.

Što se tiče procjena sigurnosti vode poljoprivrednih praksi, trenutno razmišljanje u vodnoj industriji (barem implicitno) je da će budućnost biti produžetak sadašnjosti, ali uz samo manja poboljšanja. Potražnja vode za poljoprivredu vjerojatno će se znatno smanjiti u većini velikih zemalja tijekom sljedećih nekoliko desetljeća. Kao rezultat toga, trenutne procjene sigurnosti vode postat će sve više irelevantne.

3. PRIMJERI RECIKLIRANE VODE I NJENE SIGURNOSTI

Važno pitanje kojem se posljednjih godina nije posvećivalo mnogo pozornosti je utjecaj na pitanja sigurnosti vode kada se uzme u obzir recikliranje vode. Neobnovljivi resursi koji se koriste u proizvodnji energije, kao što su ugljen, nafta i prirodni plin, nakon upotrebe se razgrađuju na različite komponente. Voda je obnovljivi resurs koji se može iskoristiti. Otpadne vode se mogu skupljati i pravilno tretirati za ponovnu upotrebu. Ovisno o opsegu i kvaliteti pročišćavanja otpadnih voda te pouzdanosti procesa pročišćavanja, pročišćene otpadne vode mogu se koristiti za sve namjene, uključujući izravno i za piće. Windhoek, glavni grad Namibije, koristi recikliranu vodu kao izravan izvor pitke vode više od 50 godina zbog nedostatka pristupa dovoljnoj količini vode (Tortajada i van Rensburg, 2019.). Grad do sada nije imao nikakvih zdravstvenih problema zbog dugotrajne uporabe reciklirane vode.

Desetljećima kasnije, grad-država Singapur krenuo je stopama Windhoeka i počeo koristiti pročišćenu otpadnu vodu. Kvaliteta pročišćene otpadne vode bolja je od vode iz slavine koja se trenutno isporučuje građanima. Stoga se veliki dio te visokokvalitetne pročišćene otpadne vode isporučuje u industriju vafla, kojoj je za proizvodnju potrebna voda visoke kvalitete. Ostatak reciklirane vode dodaje se u rezervoare koji opskrbljuju kućnu vodu u Singapuru (Tortajada i drugi, 2013.). Windhoek, Singapur i Orange County u Kaliforniji (SAD) više od 50 godina dokazuju da je reciklirana voda sigurna za piće bez ikakvih zdravstvenih problema.

Zbog klimatskih promjena suša je češća nego ikad u mnogim dijelovima svijeta. Osim toga, suše imaju tendenciju da traju duže i imaju tendenciju da postanu ozbiljnije.

Australska milenijska suša i kalifornijska suša 2012. - 2016. su dobri primjeri. To znači da će mnoga urbana središta biti prisiljena razmotriti alternative ponovnom korištenju vode za piće, jer je malo vjerojatno da će imati mnogo opcija ako žele osigurati sigurnost vode. Takav razvoj događaja znači da bi kućna i industrijska voda u budućnosti mogla postati sve više "reciklirajuća", (Tortajada i drugi, 2013.).

ZAKLJUČAK

Nema sumnje da će klimatske promjene utjecati na način na koji se planiraju, projektiraju, grade i upravljaju aktivnosti iz područja vodnih resursa u narednim desetljećima. Utjecaj klimatskih promjena na društvo, ekonomiju, politiku, ekologiju i institucije u budućnosti će biti vrlo značajan i prostorno i vremenski. Nedostatak razumijevanja načina na koji različite prirodne, društvene, ekonomske, ekološke i političke sile međusobno djeluju u prostoru i vremenu te nedostatak pouzdanih podataka i informacija u razumnom vremenu doprinose problemu sigurnosti i očuvanja vode pod utjecajem klimatskih promjena. Trenutačno većina nacionalnih i međunarodnih organizacija nije u stanju izraditi dovoljno pouzdane i djelotvorne projekcije budućih klimatskih scenarija za planiranje i upravljanje vodama.

Iako su klimatske neizvjesnosti brojne i trebat će vremena da se shvate i isprave, sigurnost vode u budućnosti može se razumno osigurati tako da se upravljanje vodom i prakse i procesi korištenja vode učine učinkovitijim i pravednijim. Postoje mnogi primjeri iz cijelog svijeta gdje dobra praksa može dati izvrsne rezultate s manje vode. Sve ove dobre prakse potrebno je identificirati i pravilno dokumentirati, posebno s obzirom na uvjete koji omogućuju te rezultate.

Kako bi se uspješno i mudro planirao vodni sektor unutar cjelokupnog okvira održivog razvoja, znanje mora ići daleko iznad sadašnjih razina. Uspješno rješavanje ovih izazova unutar razumnog vremenskog okvira ovisit će o transcenciji klimatsko-hidroloških modela. Politike prilagodbe i održive strategije za troškovno učinkovito ublažavanje moraju se razvijati u svjetlu njihove ukupne učinkovitosti, pravilno se provoditi i kontrolirati svakih 3 - 5 godina.

LITERATURA

- [1] Biswas, A.K., Tortajada, C., (2019): *Water crisis and water wars: myths and realities*, Int. J. Water Resour. Dev., 35(5), pp. 727-731, <https://doi.org/10.1080/07900627.2019.1636502>
- [2] Biswas, A.K., Sachdeva, P.K., Tortajada, C., (2021): *Phnom Penh water story: remarkable transformation of an urban water utility*, Springer, Singapur, 176 pages
- [3] Brabeck-Letmathe, P., (2016): *Climate change, resource efficiency and sustainability*, In: Biswas, A.K., Tortajada, C. (eds.), *Water security, climate change and sustainable development*, Springer, Singapore, pp. 7-26
- [4] Brooks, D.B., (2008): *Human rights to water in North Africa and the Middle East: what is new and what is not; what is important and what is not*. In: Biswas, A.K., Rached, E., Tortajada, C. (eds.), *Water as a human right for the Middle East and North Africa*, Abingdon, pp. 19-34

- [5] Doczi, J., Calow, R., d'Alancon, V., (2014): *Growing more with less: China's progress in agricultural water management and reallocation*, Overseas Development Institute, London, <https://cdn.odi.org/media/documents/9151.pdf>
- [6] Folkman, S., (2018): *Water main break rates in the USA and Canada: a comprehensive study*. Utah State University, Logan, https://digitalcommons.usu.edu/mae_fac-pub/174/
- [7] Nestlé, (2020): *Creating shared value and sustainability report 2020*, Nestlé, Vevey, pp. 44-48, <https://www.nestle.com/sites/default/files/2021-03/creating-shared-value-report-2020-en.pdf> (pristupljeno 09. lipnja 2023.)
- [8] PwC, (2019): *Funding approaches for leakage reduction*, Report for Ofwat (December). <https://www.ofwat.gov.uk/wp-content/uploads/2019/12/PwC-%E2%80%93-Funding-approaches-forleakage-reduction.pdf> (pristupljeno 18. lipnja 2023.)
- [9] Sauri, D., (2019): *The decline of water consumption in Spanish cities: structural and contingent factors*, International Journal of Water Resources Development, 36(6), pp. 909-925. <https://doi.org/10.1080/07900627.2019.1634999>
- [10] Tortajada, C., van Rensburg, P., (2019): *Drink more recycled wastewater*, Nature, 577, pp. 26-28. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-03913-6>
- [11] Tortajada, C., Joshi, Y., Biswas, A.K., (2013): *The Singapore water story: sustainable development in an urban city state*, Routledge, Abingdon, 288 pages
- [12] UN Population Division, (2019): *Revision of world population prospects. Economic and Social Affairs*, United Nations, New York, <https://population.un.org/wpp/> (pristupljeno 09. lipnja 2023.)
- [13] Wallemacq, P., House, R., (2018): *Economic losses, poverty and disasters 1998-2017*, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters and United Nations Office for Disaster Risk Reduction, https://www.preventionweb.net/files/61119_credeconomicalosses.pdf, 33 pages, (pristupljeno 20. lipnja 2023.)

AUTORI

doc. dr. sc. Elvis Žic ^a

prof. dr. sc. Nevenka Ožanić ^a

Marta Marija Bilić, mag. ing. aedif. ^a

^a Građevinski fakultet u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, elvis.zic@uniri.hr, nozanic@uniri.hr, marta.marija.bilic@uniri.hr



R 1.02.

IMPLIKACIJE KLIMATSKIH PROMJENA NA NAVODNJAVANJE, ODVODNJU I UPRAVLJANJE POPLAVAMA

Elvis Žic, Nevenka Ožanić, Goran Volf

SAŽETAK: Kroz povijest, zemlja je bila svjedokom klimatskih promjena uglavnom zbog manjih varijacija u zemljinoj orbiti što je rezultiralo različitim količinama sunčeve energije koju prima zemljina površina. U pogledu poljoprivrednog sektora, marginalna povećanja temperature zraka i koncentracije ugljičnog dioksida korisna su za većinu usjeva, ali njihovi učinci na štetnike i mikrobne populacije u tlu nisu u potpunosti istraženi. Dezertifikacija riječnih slivova i podizanje razine mora u obalnim područjima neizbježno će ograničiti opskrbu kopnom i slatkom vodom, koja su tri osnovna materijalna prirodna resursa poljoprivrede (osim zraka), čime će se povećati poteškoće. Promjene u prostornoj raspodjeli oborina mogu značajno utjecati na poljoprivredne i industrijske cikluse društva što ima utjecaja na opasnosti od poplava, koje povećavaju opseg i mijenjaju učestalost plavljenja. To dovodi do povećane ranjivosti na povezanu infrastrukturu, kako na staništa tako i na domaće ekonomske gubitke.

Posljedično, pitanja klimatskih promjena zahtijevaju klimatski prihvatljiva rješenja u obliku ublažavanja rizika, mehanizama suočavanja i drugih strategija prilagodbe kako bi se osigurala održivost poljoprivrednih sustava. Ovaj rad se bavi klimatskim promjenama i njihovim utjecajima na upravljanje vodama u poljoprivredi, važnosti za upravljanje poplavama, ulozi koju podaci mogu imati u određivanju tih utjecaja i kako se kreativne strategije prilagodbe mogu koristiti za ublažavanje učinaka klimatskih promjena.

KLJUČNE RIJEČI: Klimatske promjene, Navodnjavanje, Upravljanje vodama, Poljoprivreda, Odvodnja, Upravljanje poplavama, Sigurnost vode, Sigurnost hrane

IMPLICATIONS OF CLIMATE CHANGE ON IRRIGATION, DRAINAGE AND FLOOD MANAGEMENT

ABSTRACT: Throughout history, the earth has witnessed climate change mainly due to minor variations in the earth's orbit resulting in different amounts of solar energy received by the earth's surface. In terms of the agricultural sector, marginal increases in air temperature and carbon dioxide concentrations are beneficial for most crops, although their effects on pests and soil microbial populations have not been fully explored. A desertification of river basins and rising sea levels in coastal areas will inevitably limit the

availability of land and fresh water, which are the three basic material natural resources of agriculture (apart from air), thus increasing the challenges. Changes in the spatial distribution of precipitation can significantly affect agricultural and industrial cycles of the society, which has an impact on flood hazards that increase the extent and change the frequency of flooding. This leads to increased vulnerability of the associated infrastructure, both in view of habitats and domestic economic losses.

Consequently, climate change issues require climate-friendly solutions in the form of risk mitigation, coping mechanisms and other adaptation strategies to ensure the sustainability of agricultural systems. This paper looks at climate change and its impacts on agricultural water management, the importance of flood management, the role that data can play in determining these impacts and how creative adaptation strategies can be used to mitigate the effects of climate change.

KEYWORDS: Climate change, Irrigation, Water management, Agriculture, Drainage, Flood management, Water security, Food security

1. UVOD

Klimatske promjene nisu nova pojava. Kroz povijest je Zemlja iskusila klimatske promjene prvenstveno zbog razlika u količini sunčeve energije koju prima Zemljina površina zbog malih promjena u Zemljinoj orbiti. Međutim, klima je ostala neznatno promjenjiva gotovo 11.000 godina. No, s porastom industrijalizacije od sredine 20. stoljeća, emisije stakleničkih plinova značajno su porasle (posebno u posljednjih nekoliko desetljeća). Upravo je povećana emisija stakleničkih plinova ubrzala klimatske promjene što je rezultiralo povećanjem globalnog zagrijavanja. Prosječna temperatura Zemljine površine (po kopnu i oceanu) je prema izvještaju Nacionalne uprave za oceane i atmosferu SAD-a porasla u 2020. godini za 1,19 °C od predindustrijske ere (Lindsey i Dahlman, 2021.).

Tijekom Hladnog rata svijet se bojavao nuklearnog Armagedona, iako je potihom stvarao još jedan "Armagedon klimatskih promjena", sa sve većom potražnjom i iskorištavanjem resursa bez obzira na njihovu održivost. Utrka za industrijalizacijom smatra se izravno proporcionalnom nacionalnim gospodarstvima i rastu, potičući povećanu upotrebu fosilnih goriva i time povećane emisije stakleničkih plinova iz industrije i drugih putova kao što je prekomjerna upotreba vode za poljoprivredni i industrijski rast, krčenje šuma, plastično onečišćenje i spaljivanje plastike. Sve to izravno ili neizravno doprinosi globalnom zatopljenju i klimatskim promjenama. Budući da su klimatske promjene sveprisutne i ne priznaju administrativne ili političke granice koje povlače nacije, njihovi katastrofalni učinci neće biti pošteđeni.

Što se tiče poljoprivrednog sektora, mali porast temperature zraka i koncentracije ugljičnog dioksida CO₂ pogodovao bi većini usjeva. Međutim, njihovi učinci na štetnike i mikrobne populacije tla nisu u potpunosti istraženi i shvaćeni. Na primjer, temperature postupnog zagrijavanja sigurno će osigurati više vode zbog bržeg otapanja ledenjaka u kratkom roku, ali u srednjoročnom i dugoročnom razdoblju, odgovarajuća prihrana slatke vode bit će zabrinjavajuća zbog mijenjanja uzoraka oborina i nestalnog ponašanja rijeka (uz ekstremne događaje kao što su poplave i suše). Dezertifikacija slivova i podizanje razine mora u obalnim područjima neizbježno će ograničiti kopnene površine i opskrbu slatkom vodom, koji su uz zrak jedan od tri osnovna prirodna resursa za poljoprivredu.

2. UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA VODNE RESURSE

Voda je neiscrpan resurs čiju dostupnost kontrolira hidrološki ciklus, koji je dio globalnog procesa cirkulacije atmosfere i njezine interakcije s kopnom. Utjecaj klimatskih promjena uglavnom se očituje kroz medij vode, kao što su promjene u hidrološkom ciklusu, česte i ekstremne poplave i suše, pojačano otapanje snijega, porast razine mora i slično. Drugi utjecaji klimatskih promjena na hidrologiju vidljivi su kroz promjene u obrascima atmosferske cirkulacije, promjene u baznom protoku, povećane koncentracije sedimenta, promjene u ekosustavima i promjene u biološkim i fizičkim svojstvima tla (Muir i drugi, 2018.). Promjene u prostornoj i vremenskoj distribuciji mogu značajno utjecati na poljoprivredne i industrijske cikluse društva. To posebno vrijedi za poplave, koje povećavaju opseg plavljenja i mijenjaju njegovu učestalost, što dovodi do povećane ranjivosti pove-zane infrastrukture i gubitka staništa i domaćih gospodarstava zbog izmijenjenih procesa poplava.

Promjene u načinu distribucije također remete međudruštvene dogovore za raspodjelu i potrošnju vode i mogu dovesti do napetosti zbog loših praksi prekograničnog upravljanja vodama u realnom vremenu. Ne može se pronaći rješenje ako se ne kvantificiraju ovi budući utjecaji. Kvantifikacija se provodi na makro i mikro razini. Makro utjecaji i prilike moraju se kvantificirati, a mikro prilagodbe moraju se izvršiti u skladu s lokalnim uvjetima, ali prilagodbe moraju biti kombinirane s makro propisima. Za sektor vode, a posebno za sektor poljoprivrede treba smišljati adekvatna i primjenjiva rješenja. Održiva rješenja moraju se temeljiti na trenutnoj najsuvremenijoj tehnologiji i kvantitativnoj znanosti.

3. UTJECAJ I MOGUĆNOSTI ZA UPRAVLJANJE VODAMA U POLJOPRIVREDI

Voda se prvenstveno koristi u poljoprivrednoj proizvodnji i primarno je sredstvo opskrbe hranom i vlaknima za ljude i stoku. FAO procjenjuje da oko 70 % dostupnih slatkovodnih resursa troši poljoprivredni sektor, a u nekim zemljama u kojima poljoprivreda dominira gospodarstvom taj je postotak čak i veći. Dok klimatske promjene vrše pritisak na slatkovodne resurse kao i na poljoprivredu, neklimatski čimbenici kao što su globalni rast stanovništva, urbanizacija, globalni gospodarski rast, konkurentska potražnja za prirodnim resursima, prakse upravljanja agronomijom, modernizacija, tehnološke inovacije te trgovina i cijene hrane utječu na vodne resurse (FAO, 2017.).

S druge strane, rastuće temperature i promjene u klimatskim parametrima kao što su brzina vjetra, sunčeva svjetlost i obilne oborine promijenit će zahtjeve za evapotranspiracijom. Životni ciklusi usjeva mogu se promijeniti, utječući na mreže distribucije vode. Ove promjene, posebno one uzrokovane poplavama ili sušama, mogu utjecati na razine vode ne samo na farmama nego i u slivovima. Područja koja su izgubila pristup određenim poljoprivrednim modelima možda će morati usvojiti alternativne strategije kako bi i dalje bila izvor sredstava za život. Osim toga, povećanje prosječne temperature dovest će do povećanja evapotranspiracije, što će utjecati na efektivnu količinu oborine i promijeniti tokove rijeka. Zauzvrat, to će zahtijevati strukturne promjene infrastrukture za navodnjavanje, što će nametnuti dodatna financijska opterećenja.

Kriza će vjerojatno biti ozbiljna na lokalnoj razini, budući da će učinci klimatskih promjena prijeći nacionalne granice, a gospodarski modeli pojedinih zemalja morat će se

promijeniti. Najmanje razvijene zemlje trebale bi biti posebno oprezne jer možda nemaju ekonomsku fleksibilnost za dovođenje dodatnog kapitala, a njihova egzistencija ovisi o poljoprivrednom sektoru s malim viškom za ulaganje. Klimatske promjene utjecat će na prostornu i vremensku distribuciju oborina kao i na evapotranspiraciju, čime će utjecati na dostupnost vodnih resursa (Konapala i sur., 2020.). To može dovesti do migracija stanovništva iz ruralnih u urbana središta radi boljih mogućnosti zapošljavanja, stvarajući tako “iskrivljenu” potrošnju vode.

Budući da sektor navodnjavanja čini najveće globalno crpljenje slatke vode, dodatni zahtjevi za hranom i vodom prisiljavaju ga da se prilagodi novim parametrima (IPCC, 2007.). Povijesni obrasci korištenja vode možda više nisu relevantni zbog promjena u dostupnosti vode i povećane konkurencije drugih industrija. Potrebno je poboljšanje učinkovitosti na različitim razinama kako bi se bolje iskoristili resursi i učinilo da isti resurs traje dulje ili da se proširi na veće područje.

3.1. Uloga navodnjavanja u postizanju globalne sigurnosti hrane

Navodnjavanje je glavni pokretač zelene revolucije i osiguravanja sigurnosti hrane diljem svijeta. Iako je navodnjavanje glavni izvor održive poljoprivrede, ono je također i najveći potrošač vode. Ovaj teret prilagodbe za navodnjavanje je jednako velik, jer se svi sektori moraju prilagoditi. Osim toga, predviđa se povećanje ukupne potražnje za vodom za navodnjavanje u svim projiciranim scenarijima klimatskih promjena i hidroekonomskim modelima.

Učinkovito upravljanje vodom može djelomično pomoći u izbjegavanju propadanja usjeva i gubitka prihoda s kojima se poljoprivreda suočava zbog nestašice vode. Na navodnjavanje se do sada gledalo samo kao na alat za povećanje produktivnosti. Međutim, potrebno je daljnje razmatranje kao alata za ublažavanje klimatskih promjena i prilagodbu. Budući da su sigurnost vode i sigurnost hrane inherentno međusobno povezane, upravljanje njima mora se temeljiti na višekriterijskoj analizi koja uključuje sve dionike. Kako bi se osiguralo da razvoj i upravljanje navodnjavanjem odgovaraju učincima klimatskih promjena, potrebno je identificirati ključne igrače, prilagoditi njihove uloge potrebama navodnjavanja i usvojiti klimatski prihvatljive strategije. Donošenje odluka mora se oslanjati na čisto znanstveno znanje kako bi se održala socioekonomska ravnoteža u skladu s tradicionalnom praksom primjenjivom na odgovarajuću mikroklimu. Inicijative kao što su integrirano upravljanje slivovima, primjena tehnologija za uštedu vode na farmama, skladištenje vode za navodnjavanje i korištenje reciklirane vode za navodnjavanje mogu biti potencijalna sredstva za borbu protiv klimatskih promjena.

Mnogi su istraživači razvili sustave za podršku odlučivanju za sustave navodnjavanja koji uzimaju u obzir parametre kao što su vlažnost i temperatura zraka i tla, evapotranspiracija biljaka, intenzitet oborina, smjer i brzina vjetra te relativni tlak za optimalizaciju korištenja vode i energije u sustavima za navodnjavanje (Suciu i drugi, 2019.; Watanabe i drugi, 2017.). Institucionalne reforme u politici i praksi, zajedno s jačanjem znanja, vještina i kapaciteta onih koji pružaju usluge navodnjavanja i odvodnje, doprinijele bi postizanju ciljeva sigurnosti hrane.

4. UPRAVLJANJE POPLAVAMA NA SIGURNOST VODE

Sve su očitije česte promjene hidroklimatskih prilika uzrokovane globalnim zatopljenjem. Predviđa se da će porast srednje razine mora povećati vjerojatnost obalnih poplava, dok će promjene u veličini, intenzitetu i učestalosti oborina i otjecanja povećati riječne poplave (Burrell i drugi, 2007.). Poplave stoga ne samo da čine ljudska naselja ranjivima, već predstavljaju i veliku prijetnju poljoprivredi, ugrožavajući sigurnost hrane. Kako bi se to riješilo, strategije prilagodbe klimatskim promjenama koje uključuju zaštitu od poplava i upravljanje rizikom moraju biti uključene za učinkovito upravljanje poplavama. Poplave su usko povezane s korištenjem zemljišta. Brzi rast stanovništva i povećana urbanizacija lišavaju zemljište njegovih prirodnih drenažnih svojstava i povećavaju rizik od poplava, posebno u urbanim područjima. Prema WMO-u, neki od potencijalnih utjecaja promjene korištenja zemljišta u sustavu na vodne resurse navode se u nastavku (Das, 2007.):

- veća učestalost poplava i suša,
- povećana erozija tla i gubitak plodnog tla,
- veći teret onečišćenja u rijekama rezultira pogoršanjem kvalitete vode,
- smanjenje niskih protoka utječe na regulaciju akumulacije što može poremetiti regulacijski kapacitet akumulacije i posljedično utjecati na vodoopskrbu, navodnjavanje, plovidbu i hidroenergiju u različitim fazama,
- intruzija saliniteta, osobito u obalnom području zbog erozije, te
- povećana ugroženost života i imovine u područjima ugroženim poplavama.

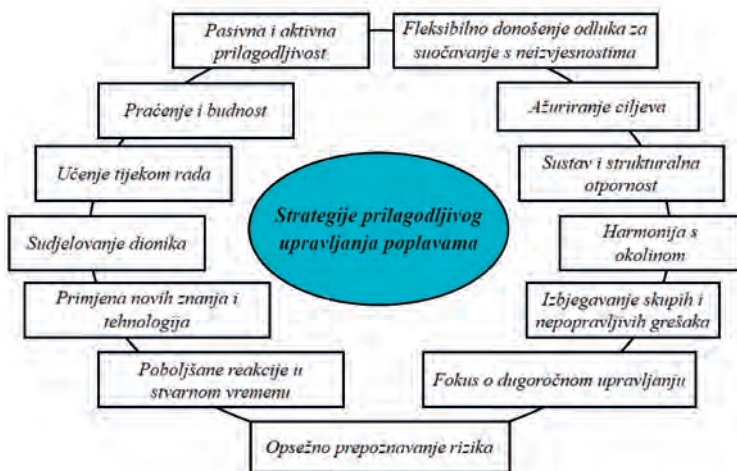
Kontrola poplava općenito prihvaća strukturne mjere kao što su izgradnja brana, akumulacija, nasipa, zidova od poplava, nasipa ili prirodnih rezervoara. Druge strukturne mjere uključuju poboljšanje kanala, poboljšanje odvodnje ili preusmjeravanje poplavnih voda. Ove mjere uvelike doprinose sprječavanju poplava, zaštiti ranjivih područja i regulaciji nizvodnih tokova. Međutim, strukturne mjere mogu negativno utjecati na hidrologiju, morfologiju i okoliš, kao i na socioekonomski razvoj (HTU, 2021.). Stoga se, u cilju podrške funkciji građevinskih mjera, negrađevne mjere projektiraju kao dopunske ili samostalne mjere zaštite od poplava. Neke nestrukturalne mjere za upravljanje rizicima od poplava uključuju predviđanje i upozoravanje na poplave, propise o korištenju zemljišta kroz zoniranje poplavnih nizina, zaštitu od poplava i osiguranje od poplava (Das, 2007.). Napredak daljinskog očitavanja, GIS-a i drugih hidroloških i klimatskih modela u predviđanju poplava postaje danas važan alat u zaštiti od rizika od poplava.

5. SIGURNOST I ODRŽIVOST VODNE INFRASTRUKTURE

Poplave ne predstavljaju samo izazove za ljudske živote i imovinu, već također ozbiljno utječu na sigurnost i dobrobit skupe vodne infrastrukture kao što su brane i sustavi navodnjavanja. Rizik od poplava od brana jedan je od najvećih izazova za dobrobit građevina. Procjene rizika od poplava uzimaju u obzir novoprimjećene pojave jakih oborina, a vjerojatnosno utemeljene procjene poplava (maksimalne moguće poplave) stvaraju zahtjeve za popravkom gdje su potrebne skupe strukturne mjere u kombinaciji s nestrukturalnim mjerama kako bi se opasnosti zadržale na prihvatljivoj razini. Kao što je prikazano na slici 1., Watanabe i drugi. (2017.) predlažu prilagodljive strategije upravljanja poplavama

koje uključuju kvalitete kao što su prilagodljivost, fleksibilno donošenje odluka, praćenje i evaluacija, usvajanje otpornih tehnologija i pristupa, prilagodljivo učenje i angažman dionika.

Hidrološki procesi ovise o globalnim klimatskim procesima i još nisu u potpunosti shvaćeni niti kvantitativno modelirani. Stoga se proces oborine smatra stohastičkim procesom s malo specifičnih informacija o prostornoj i vremenskoj dostupnosti oborine, a kvantitativne odluke poput površine usjeva i mogućih dotoka mogu se generirati unaprijed putem pouzdanih prediktivnih modela. Podaci postaju neprocjenjivi kada se uspoređuju trendovi i donose odluke o planiranju pomoću različitih stohastičkih modela. U nedostatku podataka u realnom vremenu, trendovi se ne mogu promatrati kako bi se osigurala pouzdana proizvodnja hrane i energije.



Slika 1. Strategije prilagodljivog upravljanja poplavama. Izvor: Watanabe i dr. (2017.)

Strategije temeljene na podacima u stvarnom vremenu zahtijevaju česta uzorkovanja. Kako se razvijaju modeli kišnog otjecanja, moraju se uključiti srednje vrijednosti i standardne devijacije dostupnih podataka. Međutim, na ove vrijednosti snažno utječe učestalost uzorkovanja, što zahtijeva modeliranje manjih slivnih jedinica kako bi se uhvatila varijabilnost. Stope uzorkovanja podataka u smislu prostorne i vremenske rezolucije kreću se od vrlo niske do nepostojeće u mnogim dijelovima svijeta, posebno u zemljama u razvoju i najmanje razvijenim zemljama. Tipično, modeliranje i planiranje temelje se na globalnim modelima, koji mogu imati lošu rezoluciju u smislu pojedinačnih jedinica planiranja. Intervencije temeljene na modelima velikih razmjera nije pouzdana kroz cikluse usjeva ili intervale navodnjavanja. Za uspjeh ovih jedinica ključno je donošenje odluka na temelju podataka u stvarnom vremenu.

Predviđa se da će se zbog klimatskih promjena dostupnost slatkovodnih resursa smanjiti, osobito u regijama koje već oskudijevaju vodom. Posljedično, sigurnost hrane i gospodarski rast u tim regijama također su ugroženi klimatskim promjenama (Pandya i Sharma, 2021.). Stoga znanstveno istraživanje, razvoj politika i provedba projekata moraju biti u prvom planu kako bi se osiguralo održivo gospodarenje vodom u poljoprivredi.

Kao glavni korisnik slatkovodnih resursa, poljoprivredni sektor treba strategije prilagodbe klimatskim promjenama kako bi se maksimizirala produktivnost korištenja vode usjeva i učinkovitost korištenja vode, smanjio gubitak vode i upravljalo područjima pogođenim sušom. Stoga je multidisciplinarni aspekt znanosti o podacima odgovoran za simulaciju, određivanje i optimiziranje potreba usjeva za vodom pod različitim scenarijima i maksimiziranje rezultata. Karakteristični podaci relevantni za razvoj navodnjavanja mogu uključivati fizičke podatke o slivu, hidrografske podatke, meteorološke i klimatološke podatke, podatke o poljoprivredi, pitkoj i otpadnoj vodi, industrijske i navigacijske podatke, podatke o hidroenergiji, okolišne, demografske, institucionalne i ekonomske podatke (Molden i Burton, 2005.).

Međunarodno vijeće za navodnjavanje i odvodnju (*eng. ICID*) pruža platformu i mrežu za globalnu zajednicu u području navodnjavanja i odvodnje (ICID, 2021.). ICID mreža surađuje s vladinim agencijama, međunarodnim organizacijama, multilateralim agencijama, privatnim tvrtkama i specijaliziranim stručnjacima, pokrivajući više od 95 % svjetskih navodnjavanih površina. Kroz svoje različite radne skupine, nacionalne odbore i partnere, glavne aktivnosti ICID-a su promicanje unutar područja navodnjavanja, odvodnje i upravljanja poplavama, baveći se njihovim inženjerskim, agronomskim, ekološkim, društvenim, financijskim i institucionalnim aspektima. Šest organizacijskih ciljeva koji su usklađeni s ciljevima održivog razvoja Ujedinjenih naroda (*eng. Sustainable Development Goals, SDG*), posebno za doprinos sigurnosti vode i hrane kroz održivo upravljanje vodom u poljoprivredi u eri klimatskih promjena i globalnog zatopljenja su: 1. omogućiti veću produktivnost usjeva uz manje vode i energije, 2. omogućiti kataliziranje za promjenu politika i praksi, 3. olakšati razmjenu informacija, znanja i tehnologije, 4. omogućiti međudisciplinarni i međusektorski angažman, 5. poticati istraživanje i podržavati razvoj alata za proširenje inovacija u praksu na terenu, te 6. olakšati razvoj kapaciteta.

ZAKLJUČAK

Bez obzira na lokalne izvore emisije stakleničkih plinova, učinci klimatskih promjena su sveprisutni i vidljivi. Gledajući unaprijed, planiranje gospodarskog rasta treba uzeti u obzir utjecaje klimatskih promjena i odgovarajuće mehanizme suočavanja kako bi se osigurali putovi za ublažavanje utjecaja globalnih emisija ugljika. Rješavanje sve raširenije i nerješive krize globalnog zatopljenja ne znači jednokratna rješenja, već sveobuhvatan pristup koji uključuje sustavne provedbene mjere. To znači usvajanje klimatski prihvatljivih tehnoloških rješenja, korištenje postojećih softverskih i hardverskih alata za upravljanje nepovoljnim učincima klimatskih promjena, posebno na zemljišne i vodne resurse, obogaćivanje znanja, poticanje istraživanja i razvoja te jačanje napora za razvoj sposobnosti u svim aspektima institucija i podizanje svijesti kroz klimatsko obrazovanje i aktivizam.

U eri brzih klimatskih promjena, predviđa se da će globalni hidrološki uvjeti doživjeti promjene bez presedana. Kad je riječ o upravljanju vodama u poljoprivredi, učinke klimatskih promjena potrebno je ugraditi u praksu i rješenja kako rezultati i podaci ne bi bili iskrivljeni promjenama. Ključne radnje ovdje su razviti preventivne strategije za održavanje razina proizvodnje i, gdje je to moguće, pronaći opcije koje će osloboditi zajednice od pretjeranog oslanjanja na sve više iskrivljene unose vode. Razvoj u povezanim tehnološkim područjima, kao što su bolje informacijske i komunikacijske tehnologije

(eng. *ICT*) i razvoj bioloških sustava, ima potencijal koji se mora njegovati kroz svijest i širenje kako bi se demonstracija pretočila u praksu. Zbog nasumične distribucije ekstremnih vremenskih događaja u prostoru i vremenu, upravljanje katastrofama i upravljanje imovinom suočavaju se s novim izazovima, zahtijevajući stalna pregled i metode brzog odgovora za upravljanje potencijalnim katastrofama.

LITERATURA

- [1] Burrell, B., Davar, K., Hughes, R., (2007): *A review of flood management considering the impacts of climate change*, Water Int. 32(3):342-359, <https://doi.org/10.1080/02508060708692215>
- [2] Das, S., Gupta, R., Varma, H., (2007): *Flood and drought management through water resources development in India*, WMO Bullet 56(3), <https://public.wmo.int/en/bulletin/flood-anddrought-management-through-water-resources-development-india>, (pristupljeno 22. lipnja 2023.)
- [3] FAO (Food and Agriculture Organization), (2017): *Water management for climate-smart agriculture*, Climate smart agriculture sourcebook, <http://www.fao.org/climate-smartagriculture-sourcebook/production-resources/module-b6-water/b6-overview/en/?type=111>, 25 pages, (pristupljeno 25. lipnja 2023.)
- [4] HTU (Hamburg University of Technology), (2021): *Flood manager E-learning tutorials: integrated flood management (IFM)*, <http://daad.wb.tu-harburg.de/tutorial/integrated-flood-management-ifmpolicy-and-planning-aspects/>, (pristupljeno 21. lipnja 2023.)
- [5] ICID (International Commission on Irrigation and Drainage), (2021): <http://icid-ciid.org/home>, (pristupljeno 24. lipnja 2023.)
- [6] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), (2007): *Working Group II: impacts, adaptation and vulnerability*, IPCC fourth assessment report: climate change 2007. https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch3s3-5-1.html, (pristupljeno 22. lipnja 2023.)
- [7] Konapala, G., Mishra, A.K., Wada, Y., Mann, M.E., (2020): *Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation*, Nature Communication, 11:3044, <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16757-w>
- [8] Lindsey, R., Dahlman, L.A., (2021): *Climate change: global temperature*, <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature#:~:text=Prema%20to%20NOAA%20Annual,više%20od%20dvaput%20stope>, (pristupljeno 25. lipnja 2023.)
- [9] Molden, D., Burton, M., (2005): *Making sound decisions: information needs for basin water management*, In: Svendsen, M., (ed.), Irrigation and river basin management: options for governance and institutions, International Water Management Institute (IWMI), Pelawatte, Sri Lanka, pp. 51-74.

- [10] Muir, M.J., Luce, C.H., Gurrieri, J.T., Matyjasik, M., Bruggink, J.L., Weems, S.L., Hurja, J.C., Marr, D.B., Leahy, S.D., (2018): *Effects of climate change on hydrology, water resources, and soil*, In: Halofsky, J.E., Peterson, D.L., Ho, J.J., Little, N.J., Joyce, L.A. (eds.), *Climate change vulnerability and adaptation in the intermountain region*, Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, U.S., pp. 60-88.
- [11] Pandya, A.B., Sharma, P., (2021): *Importance of data in mitigating climate change*, In: Pandey, A., Kumar, S., Kumar, A. (eds.), *Hydrological aspects of climate change*, Springer, Singapore, pp. 123-137.
- [12] Suciu, G., Uşurelu, T., Bălăceanu, C.M., Anwar, M., (2019): *Adaptation of irrigation systems to current climate changes*, In: Abramowicz, W., Paschke, A., (eds.), *Business information systems workshops*, Springer, Cham, pp. 534-549.
- [13] Watanabe, T., Cullmann, J., Pathak, C., Turunen, M., Emami, K., Ghinassi, G., Siddiqi, Y., (2017): *Management of climatic extremes with focus on floods and droughts in agriculture*, *Irrigation and Drainage*, 67(1), pp. 29-42, <https://doi.org/10.1002/ird.2204>

AUTORI

doc. dr. sc. Elvis Žic ^a

prof. dr. sc. Nevenka Ožanić ^a

izv. prof. dr. sc. Goran Volf ^a

^a Građevinski fakultet u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka 51000, Hrvatska, elvis.zic@uniri.hr, nozanic@uniri.hr, goran.volf@uniri.hr



R 1.03.

PRILAGODBA VODOTOKA SLIVA DRAVE I DUNAVA KLIMATSKIM PROMJENAMA

Lidija Tadić, Tamara Brleković, Josip Janjić

SAŽETAK: Prisutnost klimatskih promjena inicirala je intenziviranje istraživanja osjetljivosti prirodnih resursa na klimatske promjene i mogućnosti prilagodbe tim promjenama. Svjedoci smo različite ugroženosti pojedinih slivova prvenstveno na promjene količina i raspodjele oborina, a potom i na promjene u temperaturama zraka. Svakako, geografski položaj i druge fizičke karakteristike slivova utječu na njihovu sposobnost prilagodbe novim meteorološkim prilikama. Elastičnost sliva na otjecanje na nekom slivu definira se kao odnos promjene otjecanja u odnosu na promjenu neke klimatske varijable, najčešće količine oborina, pri čemu su indirektno uključeni i antropogeni utjecaji. Sposobnosti prilagodbe slivova na promjenu količina oborina i temperatura zraka, izraženu preko indeksa aridnosti analizirali smo na primjeru 7 slivova rijeka na vodnom području Drave i Dunava: Drava, Mura, Bednja, Karašica, Vučica, Krajna i Vuka, odnosno 14 podslivova. Analizirani su nizovi srednjih godišnjih protoka, godišnjih količina oborina i srednjih godišnjih temperatura zraka u razdoblju od 1981. - 2020. godine. Rezultati su pokazali da su veliki vodotoci, odnosno veći slivovi, manje osjetljivi na promjene meteoroloških varijabli, a isto tako su gotovo podjednako osjetljivi na povećanje količina oborina kao i na njihovo smanjenje, odnosno sušnije godine.

KLJUČNE RIJEČI: Elastičnost sliva, Otjecanje, Količine oborina, Sliv Drave i Dunava

ADAPTATION OF WATERCOURSES IN THE DRAVA AND DANUBE RIVER BASIN TO CLIMATE CHANGE

ABSTRACT: The presence of climate change initiated more intensive investigations of the sensitivity of natural resources to climate change, and the possibilities of their adaptation. We are witnessing different vulnerabilities of individual basins, primarily to changes in precipitation quantities and distribution, but also to changes in air temperatures. Indeed, a basin's geographical position and other physical features influence its potential for adaptation to new meteorological conditions. A basin's elasticity regarding runoff is defined as the relation of a change in runoff to a change in a climate variable, mostly precipitation quantity, with anthropogenic influences indirectly included as well. A basin's adaptability to changes in precipitation quantities and air temperature, expressed by aridity index, was analysed on the example of 7 river basins in the Danube river basin district: the Drava,

Mura, Bednja, Karašica, Vučica, Krajna and Vuka (14 subbasins). We analysed a series of mean annual discharges, annual precipitation quantities and mean annual air temperatures in the 1981 - 2020 period. The results show that large watercourses, i.e. larger basins are less sensitive to changes in meteorological variables; however, they are almost equally sensitive to an increase in precipitation quantities as they are to their decrease, i.e. dry years.

KEYWORDS: Elasticity, Runoff, Precipitation quantities, Drava and Danube river basin

1. UVOD

Zbog sve učestalijih pojava ekstremnih hidroloških prilika, suša i poplava, analiziranje njihovih uzroka, a potom i mjera za njihovo sprječavanje je sve važnije. Pojedini slivovi ili podslivovi su jače ili slabije ugroženi ekstremnim količinama oborina i njihovom nejednolikom raspodjelom koja je sve izrazitija u posljednjih dvadesetak godina. Svakako, fizičke karakteristike slivova utječu na njihovu sposobnost prilagodbe novim meteorološkim prilikama koje generiraju i nove hidrološke uvjete. Ako pretpostavimo da će se na nekim slivovima uočeni trendovi povećanja ili smanjenja godišnjih količina oborina i dalje nastaviti, čak i intenzivirati postavlja se pitanje kako će te promjene utjecati na protoke. Ovo relativno jednostavno pitanje privlači pozornost hidrologa, agronoma i svih onih koji su uključeni u planiranje i odlučivanje u vodnom gospodarstvu (Roderick i Farquhar, 2011).

Stoga su istraživanja ovog problema vrlo intenzivna, mada postoje određena ograničenja. Potrebni su dugi nizovi podataka koji omogućavaju tumačenje promjena s obzirom na klimatske promjene ali moramo biti svjesni da se tijekom vremena na slivu događaju različite promjene u smislu korištenja zemljišta, urbanizacije, izgradnje hidrotehničkih građevina i sl., te uočene posljedice klimatskih promjena indirektno uključuju i promjene na slivu antropogenog porijekla. Drugo ograničenje je u korištenju godišnjih podataka, koji onda dalju osjetljivost nekog sliva ili podsliva na promjene na razini godine, a ne na nekoj kraćoj vremenskoj skali.

Elastičnost otjecanja na nekom slivu definira se kao odnos promjene otjecanja u odnosu na promjenu neke klimatske varijable (oborina, temperatura zraka), pri čemu su indirektno uključeni i antropogeni utjecaji. Pojam elastičnosti u hidrologiji, za ocjenu osjetljivosti protoka na promjene u oborinama ili drugim klimatskim parametrima uveo je Schaake (1990), mada istraživanje elastičnosti sliva i dalje ostaje aktualno (Sankarasubramanian i dr. 2001. Yang i Yang, 2011., Zhang i dr. 2022). Elastičnost otjecanja (ϵ) na promjene oborina definira se kao postotak promjene protoka u odnosu na 1 % promjene u količinama oborina i može se ponekad koristiti kao alternativna modelima površinskog otjecanja u uvjetima klimatskih promjena. Najčešće se koriste dugi nizovi godišnjih podataka o oborinama i protocima. Primjerice, autori Zhang i dr. analizirali su mjesečne protoke opažane u razdoblju od 1950. do 2016. godine na 7.053 sliva na svim kontinentima i izdvojili njih 5.327 s pouzdanom procjenom elastičnosti za razdoblje između 13 i 60 mjeseci. Pri tome ostale hidrološke i fizičke karakteristike sliva, kao što su indeks aridnosti, nadmorska visina, srednja višegodišnja količina oborina, potencijalna evapotranspiracija, bazni protok, količina snijega i sezonska raspodjela oborina značajno utječu na konačnu ocjenu elastičnosti sliva.

Analizu elastičnosti je moguće provesti i za druge meteorološke parametre (neto radijaciju, temperaturu zraka, relativnu vlažnost zraka ili brzinu vjetra. Prema istraživanju Yanga i Yanga (2011.) na slivovima rijeke Hai i Žute rijeke, jedina pozitivna elastičnost je u slučaju analize oborina. Povećanje količine oborina od 1 % rezultirat će s 2,4 % povećanja protoka a 1 % povećanja temperature zraka izazvat će 4,8 % smanjenja protoka. Ostali utjecaji, bilo pozitivni, bilo negativni, manji su od 1 %. Slično istraživanje je provedeno u SAD-u na 353 sliva s naglaskom na ispitivanje je li odgovor sliva jednak u oba slučaja - i pri smanjenju i pri povećanju oborina.

Rezultati su pokazali da je ta pretpostavka ispravna kod slivova u humidnim i subhumidnim predjelima (gdje je index aridnosti $< 1,0$). Nasuprot tome, u aridnim i semiaridnim predjelima, osjetljivost na sliva na smanjenje količine oborina je daleko veća nego na povećanje (Tang i dr. 2019.)

Najnovija istraživanja, osim dosadašnjih ocjena elastičnosti na temelju godišnjih medijana protoka, uvode procjenu elastičnosti za širi spektar pojavnosti raznih protoka na temelju njihove učestalosti pojave. Te tako imamo protoke 10 % i 90 % učestalosti čime se dobiva krivulja elastičnosti (Chiew i dr. 2006., Anderson i dr. 2023.).

Na tragu ovih istraživanja na području sliva rijeka Drave i Dunava odabrani su podslivovi za koje su provedena anlizne elastičnosti sliva na promjene količine oborina. Analizirano razdoblje je od 1981. - 2020. i 1981. - 2017., a rijeke obuhvaćene istraživanjem su rijeke Drava, Mura, Bednja, Karašica, Vučica, Krajna i Vuka.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Opis područja

Analizirani slivovi i podslivovi prezentiraju veći dio sliva rijeka Drave i Dunava u Hrvatskoj. Na svakoj od rijeka odabrano je nekoliko hidroloških postaja prema konfiguraciji samog sliva i raspoloživosti podataka. Na rijeci Dravi su analizirane tri hidrološke postaje, na Muri jedna, na Bednji pet hidroloških postaja, na Vučici dvije, i na rijekama Muri, Karašici, Krajni i Vuki po jedna. Velike rijeke kao što su Mura i Drava češće su predmet hidroloških istraživanja (Loczy i dr. 2019., Tadić i dr. 2022.), dok su vodotoci malih slivova posljednjih godina rjeđe predmet hidroloških istraživanja. Na Slici 1 prikazana je situacija analiziranog područja s označenim hidrološkim i meteorološkim postajama relevantnim za dalje analize.



Slika 1. Područje obuhvata istraživanja

Srednje godišnje vrijednosti protoka su uzete s hidroloških postaja navedenih u Tablici 1, kao i veličine pripadajućeg sliva. Podaci o oborinama su opažani na najbližim meteorološkim postajama.

Tablica 1. Karakteristični hidrološki podatci analiziranih rijeka

Rijeka / hidrološka postaja	Veličina sliva (km ²)	Mjerodavna meteo. postaja	Nadmorska visina meteo. postaje (m n.m)	Indeks aridnosti AI = P/ET
Mura (Goričan)	13.148	Koprivnica	121	0,66
Drava (Botovo)	31.038			
Drava (Terezino Polje)	33.916	Đurđevac	141	0,65
Drava (Donji Miholjac)	37 142	Donji Miholjac	97	0,55
Vučica (Beničanci)	103			
Karašica (Kapelna)	389			
Bednja (Lepoglava)	90	Varaždin	167	0,66
Bednja (Željeznica)	308			
Bednja (Ključ)	416			
Bednja (Tuhovec)	410			
Bednja (Ludbreg)	547			
Vučica (Orahovica)	42	Orahovica	187	0,62
Krajna (Čačinci)	67			
Vuka (Tordinci)	900	Osijek	88	0,59

2.2. Proračunske metode

Izračun elastičnosti sliva (ϵ_p) na promjenu količina oborina izračunava se prema izrazu:

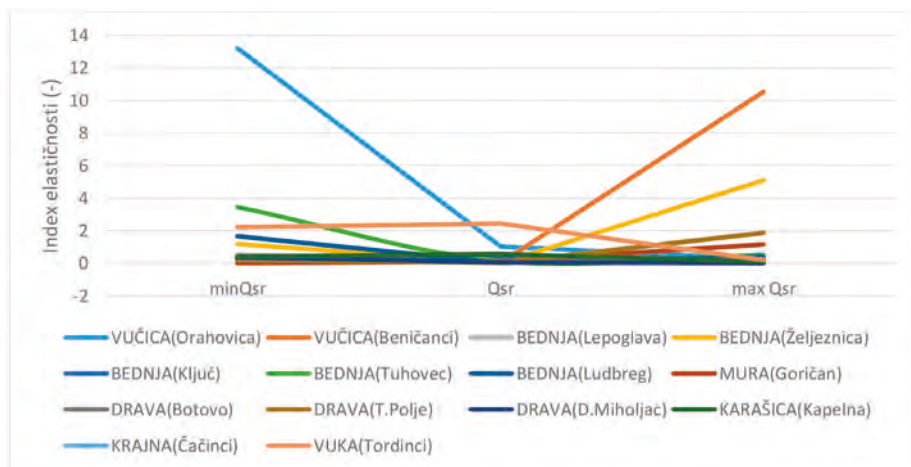
$$\epsilon_p(Q, P) = \frac{dQ/Q}{dP/P} = \frac{dQ}{dP} \frac{P}{Q} \quad (1)$$

gdje je Q srednji godišnji protok / otjecanje (mm), P godišnja količina oborina, dQ i dP su promjene srednjih godišnjih protoka, odnosno godišnjih količina oborina u odnosu na srednje vrijednosti analiziranog razdoblja, dok indeks p označava percentil analiziranih protoka.

Sljedeća primijenjena metoda je hijerarhijska klasterijska analiza (*engl. Agglomerative Hierarchical Clustering, AHC*), iteracijska klasifikacijska metoda kojom se određuju homogeni podskupovi (klasteri) unutar skupa podataka na temelju njihove sličnosti, odnosno različitosti između podskupova. Dva objekta unutar klastera imaju minimalne razlike koje se određuju iteracijskim putem, a broj klastera nije unaprijed određen već se definira algoritmom. Na taj način je 14 hidroloških postaja na sedam vodotoka karakteriziranih indeksima elastičnosti, godišnjim količinama oborinama, indeksima aridnosti, nadmorskim visinama i veličinom sliva podijeljeno u klastere prema sličnim karakteristikama. Ovim postupkom se nastojalo u analizu elastičnosti sliva uključiti relevantne karakteristike podslivova.

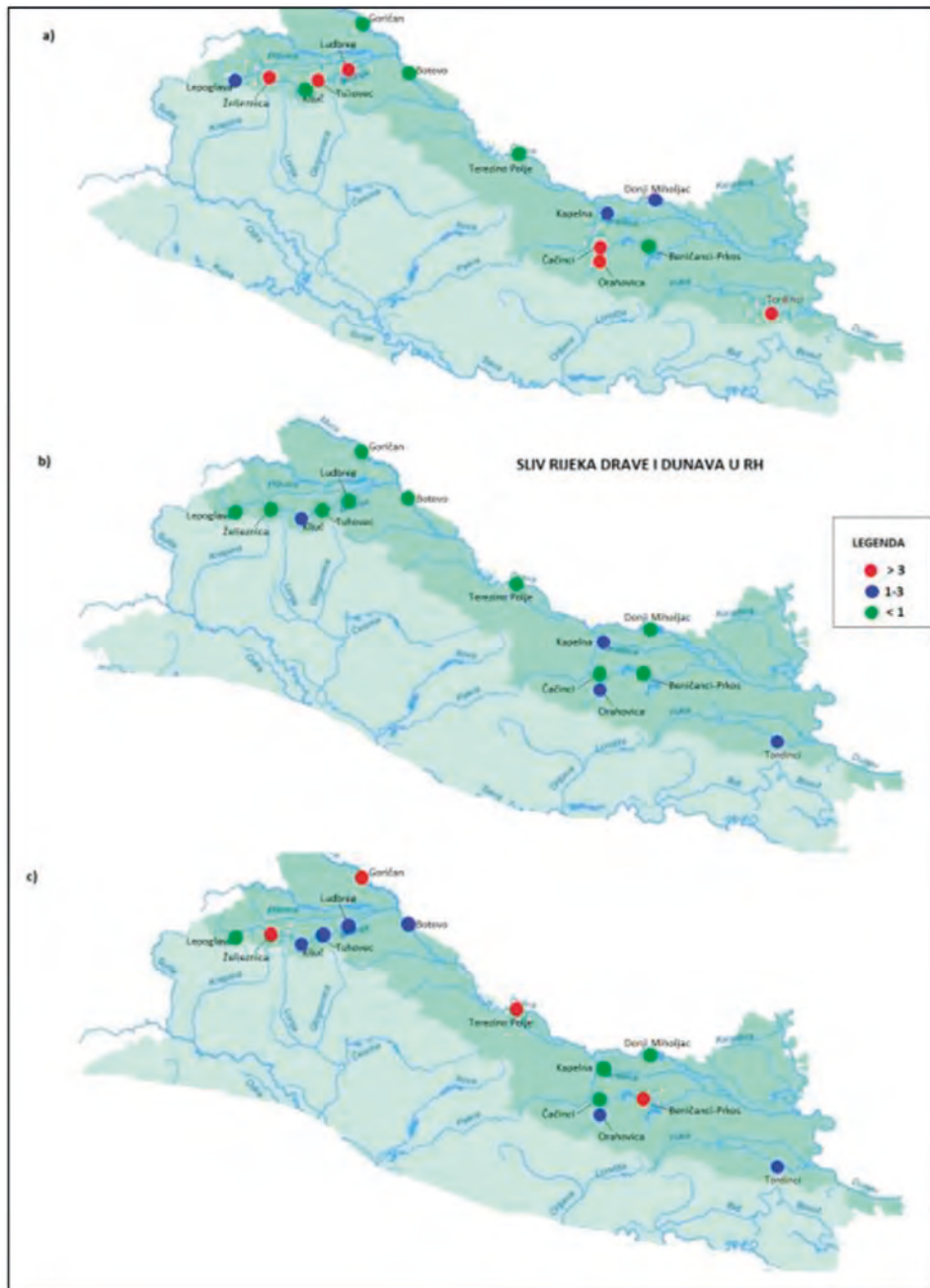
3. REZULTATI

Indeksi elastičnosti (ϵ) izračunati prema jednadžbi (1) pokazali su različite vrijednosti za minimalne srednje, srednje i maksimalne srednje vode, iskazane kroz percentile (ϵ_{10} , ϵ_{50} , i ϵ_{90}). Na taj način su definirane krivulje karakteristične za svaki od analiziranih podslivova (Slika 2). U području srednjih protoka promjene izazvane promjenom količine oborina su najmanje, dok su kod minimalnih i maksimalnih srednjih protoka promjene puno izrazitije kod svih vodotoka i svih podslivova. Najveći indeks elastičnosti kod minimalnih srednjih protoka je na rijeci Vučici na najuzvodnijem gornjem toku (Orahovica). Kod maksimalnih srednjih protoka su indeksi elastičnosti veći, odnosno veće su promjene u protocima u odnosu na promjenu količina oborina i to su najveće na rijekama Bednji (Željeznica) i Vuki (Tordinci).



Slika 2. Krivulje elastičnosti za analizirane podslivove

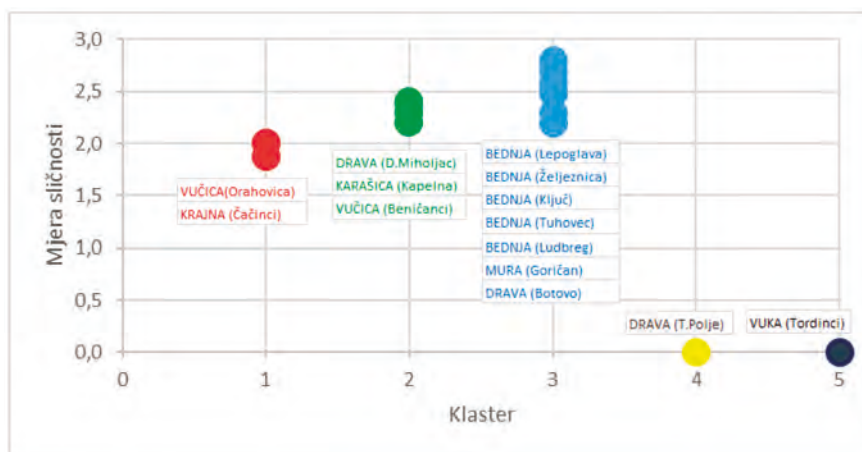
Prostorni prikaz ε_{10} , ε_{50} , i ε_{90} s iskazanim karakterističnim vrijednostima dan je na Slici 3. Pri malim vodama (Slika 3a) indeksi elastičnosti su veći od 3 na poslivovima rijeke Bednje, rijeci Vučici i rijeci Vuki, što pokazuje veliku promjenu protoka u odnosu na promjenu količina oborina i ti podslivovi jače reagiraju na sušne godine. Isti ti slivovi su elastičniji na velike vode što se dijelom objašnjava i izgrađenošću sustava za obranu od poplava na tim slivovima (Slika 3c). Za srednje vode velikih vrijednosti indeksa elastičnosti ($\varepsilon > 3$) uopće nema.



Slika 3. Prostorni prikaz: a) za $\epsilon_{10} \max Q_{sr}$; b) za $\epsilon_{50} Q_{sr}$; c) za $\epsilon_{90} \min Q_{sr}$

Rezultati prikazani na slikama 2 i 3. nisu uzimali u obzir utjecaj topografskih i meteoroloških karakteristika analiziranih slivova i podslivova. Stoga je primijenjena

hijerarhijska klasterijska analiza (AHC) gdje su uzete u obzir nadmorske visine slivova, indeksi aridnosti i veličine slivova i to samo na srednje vode. Slika 4. pokazuje rezultate kojima se grupiraju podslivovi u podskupove prema osnovnom parametru (indeks elastičnosti) i geografskim karakteristikama sliva. Rezultati pokazuju da veličina sliva nije presudna za njegovu elastičnost na promjene količina oborina, već su to i topografske karakteristike, kao i temperaturni utjecaji uzeti u obzir preko indeksa aridnosti. To se najbolje vidi na primjeru rijeke Drave čije su 3 analizirane postaje svrstane u tri različita klastera. Unutar klastera broj 2 nalaze se Drava (Donji Miholjac), Karašica (Kapelna) i Vučica (Beničanci). Podslivovi su različitih veličina, a njihovom grupiranju su više doprinijeli slični oborinski režimi, ravničarske karakteristike sliva, kao i indeksi aridnosti.



Slika 4. Hijerarhijska klasterijska analiza

ZAKLJUČAK

Provedena analiza daje uvod u detaljniju analizu utjecaja promjene količina oborina na hidrološke karakteristike 7 vodotoka i njihovih 14 podslivova na slivu rijeka Drave i Dunava, što čini veći dio tog sliva u Hrvatskoj. Rezultati su pokazali gotovo jednaku osjetljivost analiziranih podslivova i na male i na velike vode. Indeks elastičnosti ϵ kreće se uglavnom od 0 - 2, kada govorimo o srednjim vodama, a kod malih i velikih voda poprima i veće vrijednosti i to na sjevernijim slivovima (sliv Bednje, Mure), ali i na istočnijim slivovima kao što su slivovi Karašice i Vučice. Najveći podslivovi, na rijeci Dravi, pokazuju vrlo malu elastičnost kada su u pitanju male i srednje vode, a veću osjetljivost na promjene kada su u pitanju velike vode i to na hidrološkoj postaji Terezino Polje. Ovakve neparametarske analize vrlo su česte u stručnoj literaturi jer se na relativno jednostavan način mogu primijeniti na globalnoj razini, odnosno velikim područjima što je i primjerenom globalnom klimatskim promjenama. Smatramo ovo istraživanje samo početkom rada na ovom problemu i na ovih 14 podslivova, te da bi se uključivanjem i ostalih slivova na području Republike Hrvatske mogla dobiti objektivna slika o promjenama protoka u ovisnosti o promjenama količina oborina i na taj način doprinijela učinkovitijem upravljanju vodnim gospodarstvom u uvjetima klimatskih promjena.

LITERATURA

- [1] Anderson, B., Brunner, M., Slater, L., Dadson, S. (2023): *Elasticity curves describe streamflow sensitivity to precipitation across the entire flow distribution*, Hydrology and Earth System Sciences Hydrol., <https://doi.org/10.5194/hess-2022-407> .
- [2] Chiew, F.H.S., Peel, M.C., McMahon, T.A., Siriwardena, L.W.(2006): *Precipitation elasticity of streamflow in catchments across the world*, Climate Variability and Change - Hydrological Impacts (Proceedings of the 5th FRIEND World Conference Havana, Cuba, IAHS Publ. 308.
- [3] Loczy, D. (2019): *The Drava River - Environmental Problems and Solutions*, Springer, Cham, Švicarska, str.391
- [4] Roderick, M. L., Farquhar, G.D. (2011): *A simple framework for relating variations in runoff to variations in climatic conditions and catchment properties*, Water Resour. Res., 47, W00G07, doi:10.1029/2010WR009826 .
- [5] Sankarasubramanian A., Vogel, R.M.(2001): *Climate elasticity of streamflow in the United States*, Water Resources Research, Vol. 37, No. 6, str. 1771-1781.
- [6] Schaake, J. C.(1990): *From climate to flow*, Climate Change and U.S. Water Resources, edited by P. E. Waggoner, John Wiley, New York, str.. 177-206.
- [7] Tadic, L., Tamás, E.A., Mihajević, M., Janjić, J.(2022): *Potential Climate Impacts of Hydrological Alterations and Discharge Variabilities of the Mura, Drava, and Danube Rivers on the Natural Resources of the MDD UNESCO Biosphere Reserve*. Climate. 2022; 10(10):139.
- [8] Tang, Y., Tang, Q., Wang, Z., Chiew, F.H. S., Zhang, X., Xiao, H. (2019): *Different precipitation elasticity of runoff for precipitation increase and decrease at watershed scale*. Journal of Geoph. Res. Atmospheres, 124, 11, 932-11, 943.
- [9] Yang, H., Yang, D. (2011): *Derivation of climate elasticity of runoff to assess the effects of climate change on annual runoff*, Water Resour. Res., 47, W07526, doi:10.1029/2010WR009287 .
- [10] Zhang, Y., Viglione, A., Blöschl, G.(2022): *Temporal scaling of streamflow elasticity to precipitation: A global analysis*. Water Resources Research, 58, e2021WR030601.

AUTORI

prof. dr. sc. Lidija Tadić, dipl. ing. građ. ^a

izv. prof. dr. sc. Tamara Brleković, mag. ing. aedif. ^a

Josip Janjić, mag. ing. aedif. ^a

^a Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Ulica V. Preloga 3, 31000 Osijek, Hrvatska, ltadic@gfos.hr, jjanjic@gfos.hr, tamaradadic@gfos.hr



R 1.04.

VARIJACIJE HIDROLOŠKIH I METEOROLOŠKIH PARAMETARA U SLAVONIJI

Siniša Maričić

SAŽETAK: U radu se istražuju varijacije parametara hidrološkog procesa u dijelu nizin-skog područja Hrvatske. Za to su korišteni podaci prikupljeni na državnoj razini (DHMZ) na nekim lokacijama Slavonije. Obuhvaćeno je područje okruženo dijelovima velikih rijeka Drave, Save i Dunava. Razmatrani su podaci o lokalnim kišama, temperaturama zraka i vodostajima rijeka, a obuhvaćeno je uglavnom posljednjih 60 - tak godina. Za meteorološke podatke poslužili su zapisi s postaja Slavonski Brod, Gradište (Županja), Vinkovci, Ilok, Osijek, Donji Miholjac, Našice i Daruvar, a za hidrološke s mjernih postaja Slavonski Brod (Sava) i Donji Miholjac (Drava). Analize su usmjerene uočavanju i dokumentiranju osobitosti pojedinog užeg područja te trendovima njihovih promjena. Kao prikladan alat pokazao se princip klima - dijagrama po Walter-u. Rezultatima se nastojalo što jednostavnije i uočljivije iskazati prostorne i vremenske varijacije izmjerenih podataka. U radu priloženi primjeri hidroloških promjena ukazuju i na njihove implikacije na život u Slavoniji.

Prosječne dnevne temperature posvuda u Slavoniji imaju trend porasta, a u izvjesnoj mjeri i godišnja količina oborina. Vodostaji generalno opadaju, pojavljuju se sve niži, s dužim trajanjem, ali jako visoki i dalje su zastupljeni pa i s višim pojavama. Klima se mijenja i povećavaju se opasnosti sušnih i kišnih perioda na što ukazuju sušno i vlažno ugrožene zone sukcesivnih klima dijagrama, kao i povećanje koincidencije veliko - kišnih perioda s epizodama visokih (ugrožavajućih) vodostaja.

KLJUČNE RIJEČI: Slavonija, Kiše, Temperature zraka, Vodostaji, Varijacije, Klima - dijagram Waltera

VARIATIONS IN HYDROLOGICAL AND METEOROLOGICAL PARAMETERS IN SLAVONIA

ABSTRACT: The paper investigates the variations in parameters of the hydrological process in a lowland area of Croatia. It is based on data collected at the national level (Croatian Hydrological and Meteorological Service, DHMZ) on locations in Slavonia. The included area is surrounded by parts of major rivers - the Drava, Sava and Danube. The data on local rainfall, air temperatures and river water levels, mostly from the past 60 years, were analysed. The records from the HSs Slavonski Brod, Gradište (Županja),

Vinkovci, Ilok, Osijek, Donji Miholjac, Našice and Daruvar were used for meteorological data, while the records from the HSs Slavonski Brod (the Sava) and Donji Miholjac (the Drava) were used for hydrological data. The analysis is focused on observation and documenting the features of a specific small area and their changing trends. The Walter climate diagram proved to be a suitable tool. In view of the results, efforts were made to present the spatial and temporal variations in the measured data as simply and clearly as possible. The examples of hydrological changes contained in the paper indicate their implications on life in Slavonia.

The average daily temperatures everywhere in Slavonia show an increasing trend, as does, to a certain extent, the annual amount of precipitation. The water levels are generally decreasing, with a longer duration periods, although very high water levels continue to be present, even with higher occurrences. Dangers from dry and wet periods are increasing, as indicated by the dry and wet endangered zones of the successive climate diagrams, as well as the coincidences of periods with heavy rainfall and episodes of high (endangering) water levels.

KEYWORDS: Slavonia, Rainfall, Air temperatures, Water levels, Variations, Walter climate diagram

1. UVOD I PROSTORNO - VREMENSKI OBUHVAT

Osnovni parametri hidrološkog procesa cirkulacije Zemljom su oborine, isparavanje, infiltracija i površinsko otjecanje. Najzastupljenija opažanja su ona vremenskih prilika - temperature zraka i oborine te ona na površinskim vodotocima - vodostaja (Bonacci, 1994, Žugaj, 2000). Prikupljeni podaci različito se koriste za hidrotehničke potrebe. U novije vrijeme pažnja je usmjerena klimatskim promjenama i izazovima koje one nameću (primjerice Mesić i Šestak, 2013; Narodne novine, broj 46/20; Pörtner i drugi, 2022).

U ovom radu se upravo ovi najdostupniji podaci koriste za razne obrade i prikaze. Ovom prilikom nije intencija sveobuhvatno predstaviti hidrološke prilike razmatranog područja već ukazati na neke zgodne mogućnosti pri takvim poslovima. Ni obuhvaćeno područje nije precizno definirano prirodnim razdjelnicama regija, društvenim administrativnim granicama ili drugim, već se pod pojmom Slavonija podrazumijeva najveći nizinski dio između rijeka Drave i Save, od početka gorja Papuka i Psunja na zapadu do Dunava na istoku.

Podaci korišteni u radu prikupljeni su od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a). Obuhvaćeno je osam vremensko - klimatoloških mjernih postaja i tri hidrološke na rijekama, nazvane prema obližnjim naseljima. Lokacije opažanja predstavljene su slikom 1, a tablicom 1. su iskazane njihove bitne odrednice (nadmorska visina, početak mjerenja, razmatrani fond podataka, prosječna godišnja količina oborina). U različitim obradama korišteni su prikladni periodi prikupljanja (primjerice 8, 30 ili 120 godina) za iskazivanje određenog stanja i / ili promjena.



Slika 1. Lokacije mjernih postaja Slavonije čiji su podaci predmetno korišteni

Tablica 1. Osnovne odrednice korištenih podataka

OBUHVAĆENE LOKACIJE, NJIHOVE ODREDNICE I KORIŠTENI PERIOD MJERENJA						
MJERNA POSTAJA	Pozicija m n.m.	Početak mjerenja	Oborine mm (l/m ³)	Q _{sr} ^{god} (1981.-2011.)	Temperatura (zraka) °C	Vodostaj cm (m.n.m.)
Sl. Brod	88	1871.	1961.-2022.	756,4	1963.-2022.	1900.-2020.
Gradište	97	1971.	1971.-2022.	676,2	1971.-2022.	
Ilok	133	1901.	1981.-2011.	688,9	-	
Vinkovci	89	1872.	1981.-2011.	663,1	-	
Osijek	89	1859.	1882.-2022.	674,1	1960.-2022.	
D. Miholjac	97	1893.	1960.-2022.	724,8	1960.-2022.	1900.-2022.
Našice	144	1903.	1981.-2011.	802,5	-	
Daruvar	152	1884.	1981.-2011.	890,5	-	
Vukovar	88	1949.	-	-	-	1900.-2022.

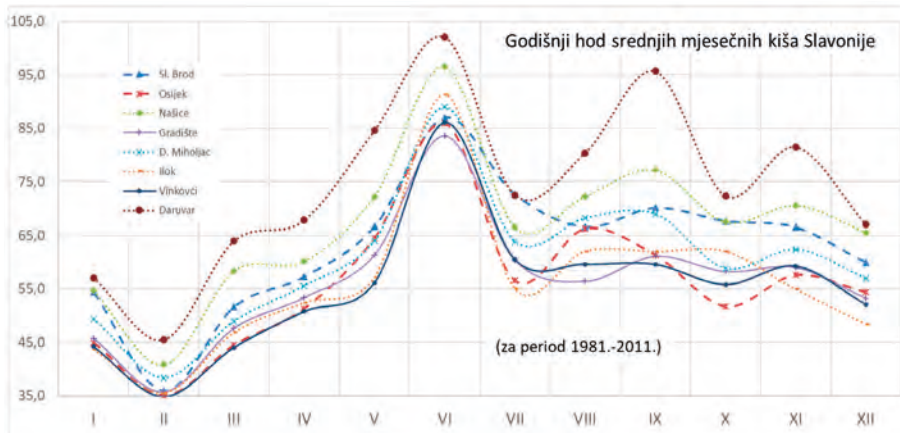
2. NEKE HIDROLOŠKE ANALIZE SLAVONIJE

Nadalje se ukratko predstavljaju analize i rezultati iz kojih se upečatljivije doživljavaju osobine i varijacije hidroloških parametara.

2.1. Količine i raspodjela oborina

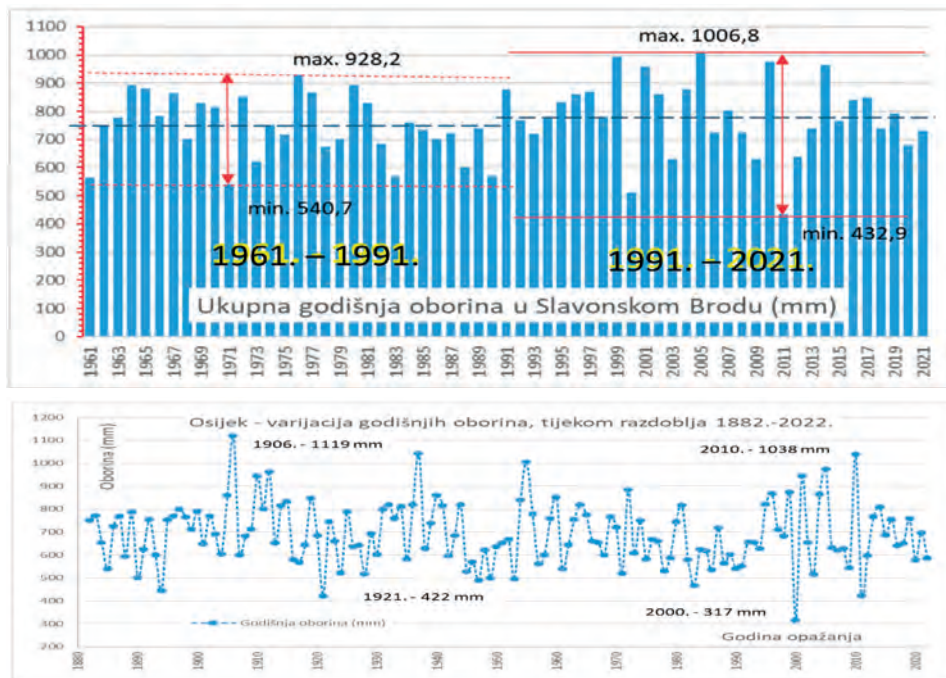
Za ovu analizu poslužio je raspoloživi fond (1981. - 2011.) podataka o oborinama na osam lokacija diljem Slavonije. Tako su primjenom 31 - godišnjeg niza obuhvaćena i starija i novija razdoblja opažanja sa svojim osobitostima. Statistički je utvrđena srednja godišnja količina oborina za svaku lokaciju (dato u tablici 1), a grafički je (slikom 2) prikazan godišnji hod srednjih mjesečnih količina oborina. Uočljivo je da je ljeti izrazito vlažan lipanj sa oko 90 l/m², a zimi najmanje oborina ima veljača, oko 40 l/m². Može

se konstatirati utjecaj reljefa, riječnih dolina te visinske i prostorne pozicije. Posavina i Podravina razlikuju se po režimu u periodu prijelaza ljeta u jesen. U jesenskom periodu brdski dijelovi izrazitije su vlažni. Ukupna godišnja količina oborina smanjuje se od zapada prema istoku.



Slika 2. Kišni režim Slavonije utvrđen 31 - godišnjim nizom podataka na osam lokacija

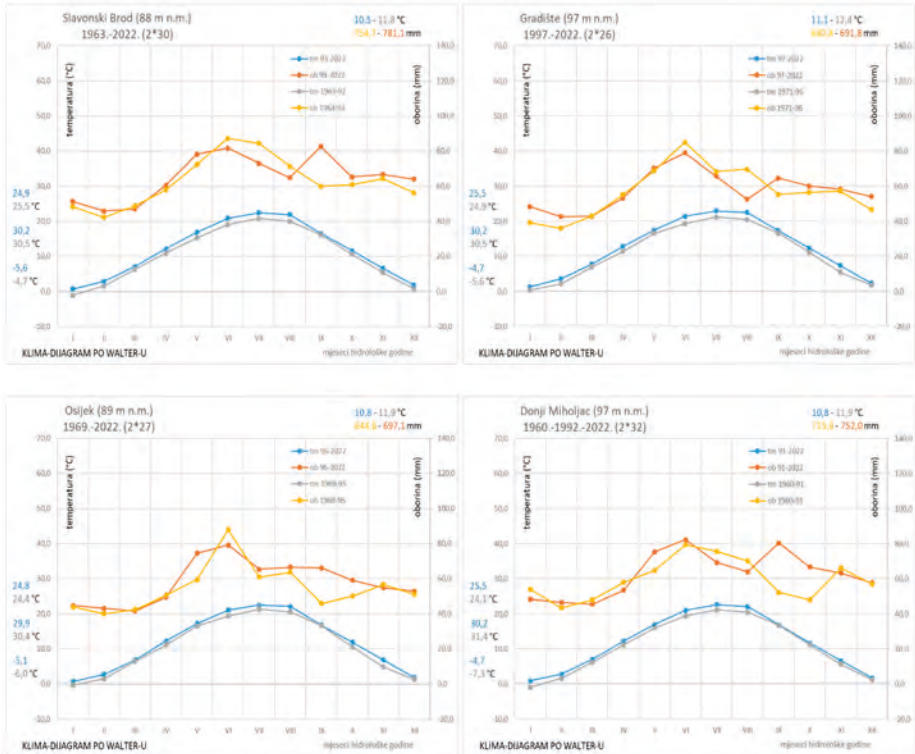
O variranju godišnjih oborina govore naredni grafički prikazi proizašli iz dužih nizova podataka. Slikom 3. predočene su varijacije kod Slavenskog Broda tijekom zadnjih 60 - tak godina. Raspon maksimalne i minimalne godišnje kiše pokazuje povećanje u posljednjih 30 godina (1991. - 2021.) u odnosu na prethodni niz (1961. - 1991.) pa bi se to moglo pripisati klimatskim promjenama. No, nešto duži niz podataka, koji je bio dostupan za lokaciju oko Osijeka, ukazuje da je i prije bilo izrazitih ekstrema i većih raspona među njima.



Slika 3. Varijacije godišnjih oborina i pojavnost ekstrema nekad i danas u Slavoniji;

2.2. Usporedba srednjih klima - dijagrama Walter-a

Jednostavan opis klime nekog područja daje klima dijagram po Walter-u, zasnovan na srednjim mjesečnim temperaturama zraka i oborinama. Njegov način izrade i sadržaj prikaza uglavnom se uniformno koriste, a opisani su (primjerice Gaussen, 1954; Walter 1955; Golubić, 1958) te inovirani (primjerice Łukasiewicz, 2006; Treder i drugi, 2018) u brojnim člancima. Ovdje je napravljena usporedba klima dijagrama dvaju sukcesivnih respektabilnih perioda (po 26 - 32 godine) raznih lokacija Slavonije. Na slici 4. su dati neki usporedni prikazi. Uočljiv je porast temperature za prosječno oko 1,2 °C (oko 10 %), prisutan tijekom svih mjeseci, a najviše izražen ljeti. Može se konstatirati i blagi porast ukupnih oborina, za nekih par postotaka (1,8 - 3,3 %) uz primjetno smanjenje ljeti, a povećanje u proljeće i jesen.



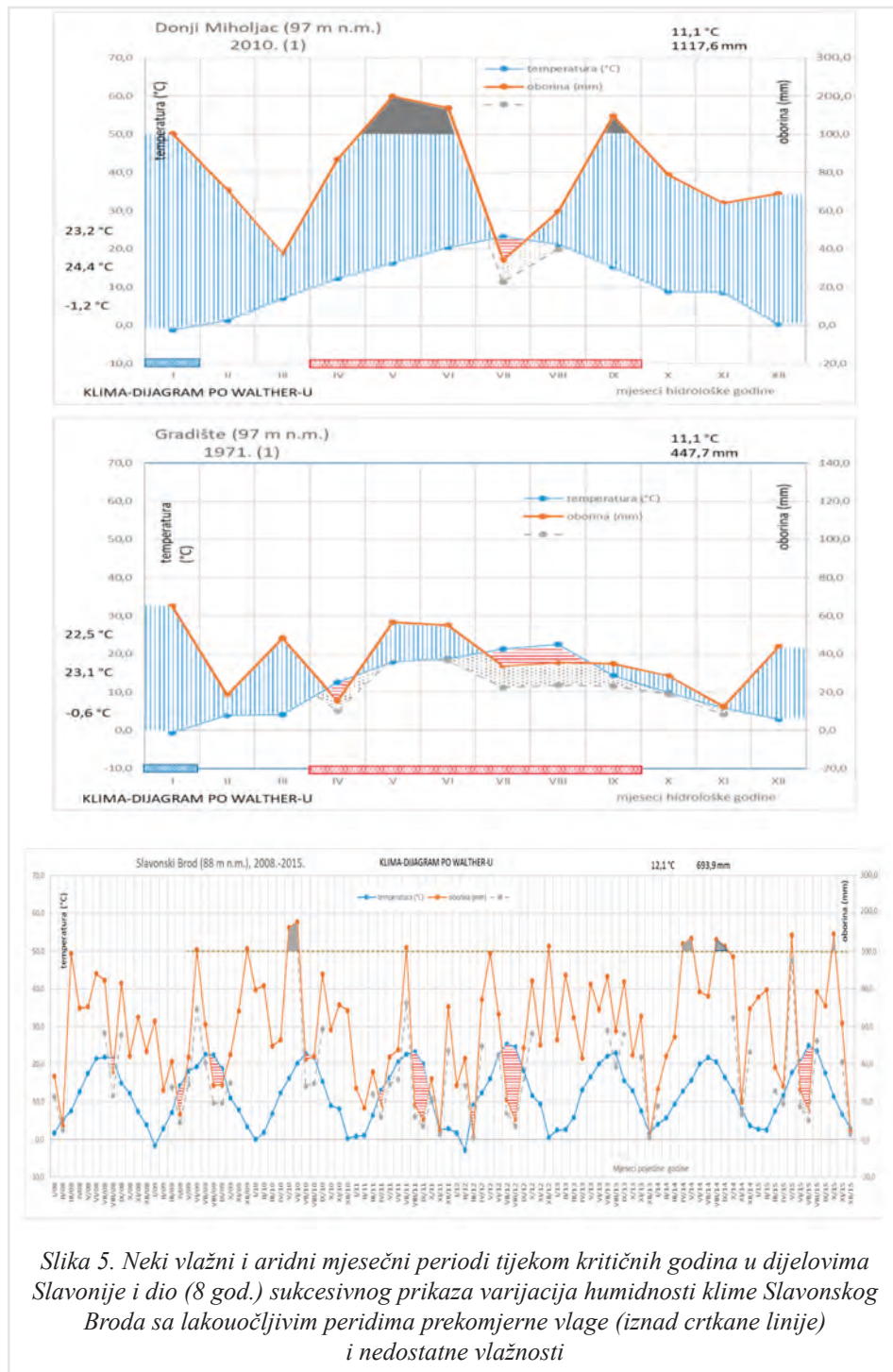
Slika 4. Promjena klime Slavonije - na osnovu dva perioda po principu Walter-a (izraženiji je trend povećanja srednjih mjesečnih temperatura zraka nego oborina)

2.3. Izrazito neprosječne (sušne i vlažne) godine

Klima - dijagrami Walter-a pokazuju pogodnu klimu sa dovoljno vlage za razvoj biljnih kultura, ali treba biti svjestan da na to ukazuju prosječni višegodišnji mjesečni podaci o oborinama i temperaturi. Pojedine godine (što je vidljivo sa slike 3.) značajno odstupaju od toga pa je o razmjerima problema sa suvišnom ili nedostatnom vlagom potrebno promotriti svaku godinu s većim odstupanjima. Slikom 5. su predstavljeni neki takvi primjeri, gdje su naglašeni problematični periodi što se zasigurno odrazilo i na poljoprivrednu proizvodnju.

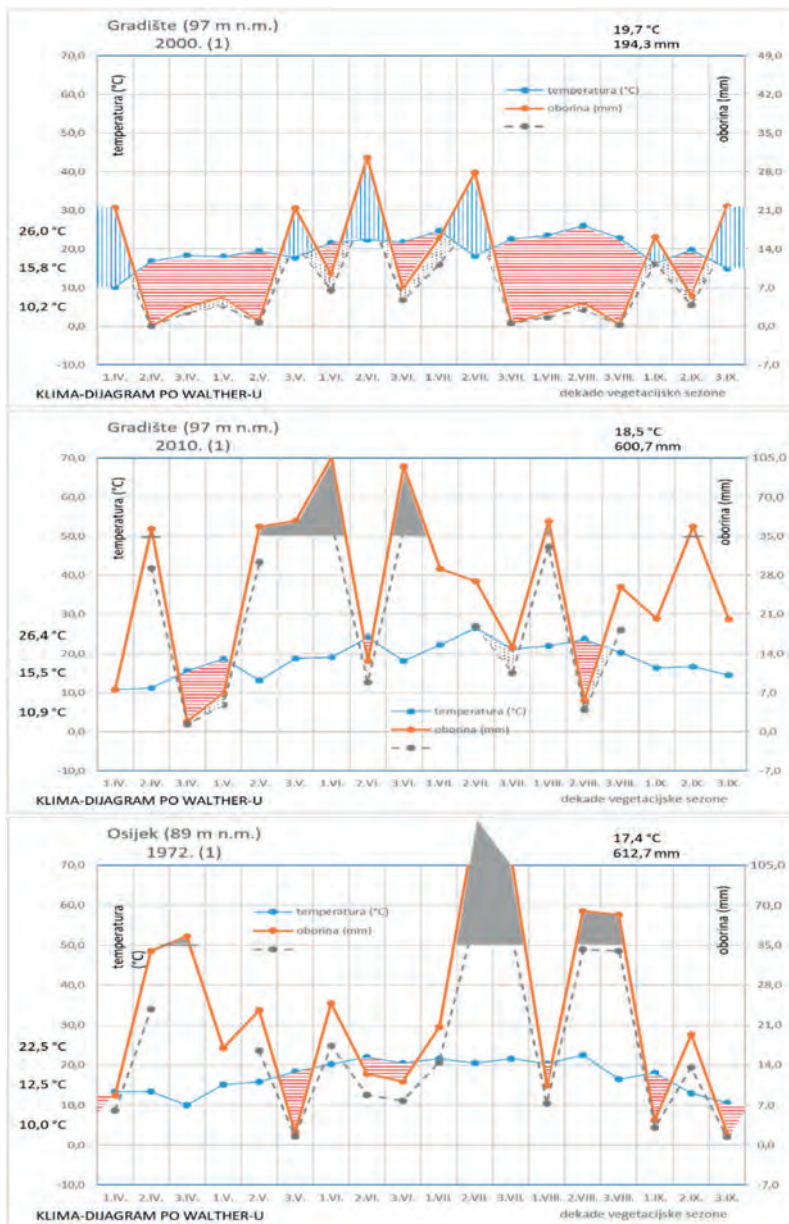
2.4. Sukcesivni prikaz klimatskih osobina

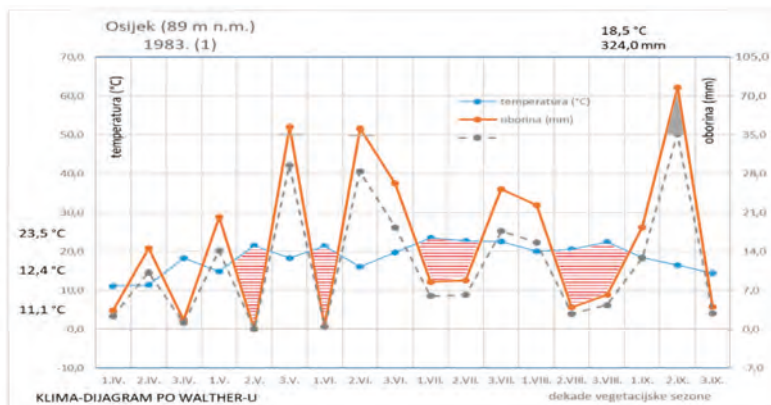
Radi lakšeg uočavanja onih mjeseci tijekom višegodišnjih perioda koji imaju problema sa viškom ili manjkom vlage prikladno je načiniti i jedinstven prikaz sa sukcesivnim nizom godina iskazan po principu Walter-a. Primjer za to je dat slikom 5. gdje su predočene vremenske osobitosti područja oko Slavonskog Broda.



2.5. Problematični dijelovi vegetacijskog perioda

Poljoprivredi je interesantan vegetacijski period (travanj - rujan) pa se unutar njega mogu promatrati dekade ili tjedni te odrediti njihove srednje temperature i kiše. Za takove podatke treba primjereno prilagoditi dijagram po principu Walter-a, što je napravljeno u izradi dijagrama datih slikom 6. za dvije slavonske lokacije.

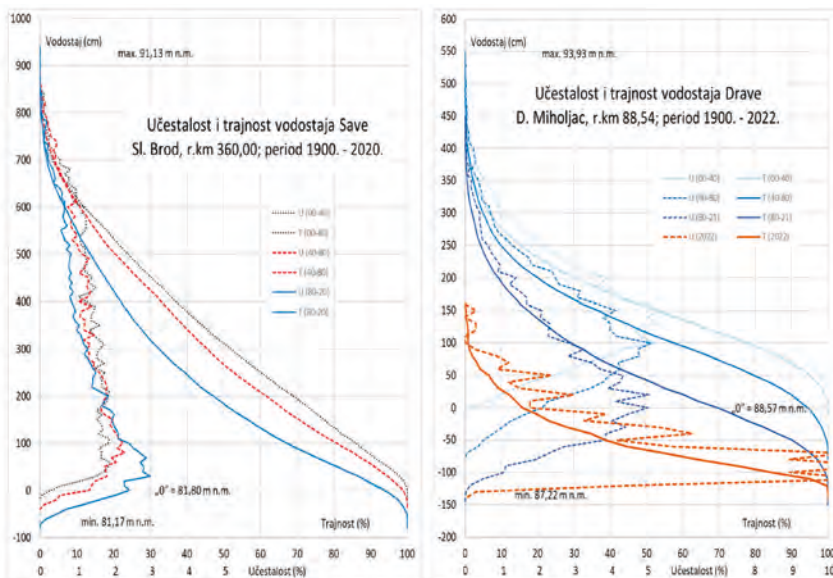




Slika 6. Primjeri analize vegetacijskog perioda preko srednjih dekadnih podataka

2.6. Promjene vodostaja glavnih nizinskih rijeka

Vodostaji glavnih slavonskih rijeka (Save, Drave i Dunava) vremenom opadaju (Cesarec i Vučetić, 2013; Maričić, 2019). Prosječno je to oko 1,2 cm/god te generalno opadaju i godišnji maksimumi vodostaja, ali bez gubitka pojavnosti najviših. Sve se to može percipirati iz krivulja učestalosti i trajanja vodostaja, čiji primjeri su dati slikom 7. U trendu općih promjena je prikazana i upozoravajuća 2022. godina (Maričić, 2023). Niski vodostaji u koritima rijeka odražavaju se i na stanje podzemnih voda, a to se odražava i na poljoprivrednu proizvodnju (manja vlaga tla, više dizanje vode za navodnjavanje i drugo), dok visoki vodostaji prijete suvišnom vlagom.



Slika 7. Promjene krivulja učestalosti i trajanja vodostaja Save i Drave u Slavoniji

2.7. Proljetna opasnost od suvišne vlage tla

U ranim stadijima uzgoja poljo - kultura i kratkotrajna (nekoliko dana) pojava loših vodo - zračnih uvjeta tla može prouzročiti značajne štete. U Slavoniji su posvuda izvedeni odvodni sustavi, ali imaju ograničenja kod visokih vodostaja recipijenata. Posebno je opasna koincidencija velike količine oborina i visokih vodostaja rijeka. Ako se „opasne” pojave izdvoje (Tablica 2.), kao što je napravljeno za Jelas Polje u Posavini (Maričić i Mijušković - Svetinović, 2019; Maričić, 2021), mogu se primijetiti promjene novijeg doba - veća pojavnost nezgodne koincidencije. Dok je u 40 - godišnjem periodu s kraja prošlog stoljeća bio jedan događaj koincidencije obilnih oborina i visokih vodostaja početkom proljeća, u 20 - godišnjem periodu ovog stoljeća desilo se to četiri puta.

Tablica 2. Opasne proljetne vode zabilježene kod Slavanskog Broda (Maričić, 2022)

Slavonski Brod	1961. - 2000. u 40 godina		Slavonski Brod	2001. - 2020. u 20 godina	
	Kiša IV.+V. (mm)	Sava (m n.m.)		Proljeće a.d.	Kiša IV.+V. (mm)
XX. st.	> 200	≥ 88,8	XXI. st.	> 200	≥ 88,8
1961.	208,3	88,38	2002.	187,0	88,53
1965.	176,9	88,73	2004.	244,7	90,15
1970.	114,0	89,79	2005.	129,9	88,79
1975.	215,2	87,83	2006.	176,1	88,98
1980.	240,9	88,95	2010.	214,3	88,87
1981.	103,5	90,27	2013.	125,8	89,82
1984.	173,6	88,83	2014.	253,1	91,13
1987.	145,1	89,11	2016.	107,4	89,39
1989.	251,5	87,81	2017.	246,0	86,91
1991.	181,6	88,70	2019.	235,8	89,14
1	4	5	4	5	7
Broj događaja veće kiše ili vodostaja (iznad kriterija) u razmatranom periodu					

ZAKLJUČAK

Mogući su različiti načini za interpretaciju hidroloških parametara, ali treba birati one najprihvatljivije širem krugu zainteresiranih. Odgovarajući podaci nisu mnogima dostupni, a posebno oni duljih nizova opažanja. Raspektabilni fond hidroloških podataka (25 - 30 godina), dostatan za inženjerske svrhe, često može ukazivati na stanja kakva nisu bila prethodno, a možda neće biti ni nadalje. Iz dužih nizova mjerenja (60 i više godina) bolje se uočavaju promjene stanja i trendovi, a još duži nizovi sigurniji su dokaz (varijacija i/ ili promjena).

Slavonija ima klimu koja je u svom prosjeku povoljna za poljoprivrednu proizvodnju, ali njene ekstremne varijacije pojedinih godina izazivaju velike štete. Mjerenjima (oborina, temperatura, vodostaja i drugog) omogućeno je analizirati koji su razmjeri odstupanja od povoljnih stanja te planirati mjere kako smanjiti štete. Više mjerenja i sveobuhvatnije razumijevanje problema preduvjeti su uspješnijeg razvoja, kojemu je jedna od glavnih sastavnica proizvodnja hrane (Mesić i Šestak, 2013).

LITERATURA

- [1] Bonacci, O. (1994): *Oborine: glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus*, Udžbenici Sveučilišta u Splitu, Udžbenici Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Geing, Split, 338 str.;
- [2] Cesarec, K.; Vučetić, V. (2013): *Utjecaj klimatskih promjena na protoke velikih rijeka u nizinskoj Hrvatskoj*, Utjecaj klimatskih promjena na poljoprivrednu proizvodnju Hrvatskoj, Agrometeorološko društvo - Zbornik radova Agrometeorologija u službi korisnika: „Klimatske promjene i poljoprivreda“, Zagreb, 14. studenog 2013., str. 7-8;
- [3] Gaussen H. (1954): *Théorie et classification des climats et microclimats*; C.R. VII-ème Congres International de Botanique; Section 7, pp. 125-130;
- [4] Golubić, S. (1958): *Prilog poznavanju klime primorske regije Jugoslavije korištenjem Walterovih klima - dijagrama*, (Beitrag zur Klimakennntniss des Jugoslawischen Kuestenlandes mit Benuetzung der Walter'schen Klima - Diagramme); Hrvatski geografski glasnik, Zagreb; vol. 20, br. 1; str. 139-148;
- [5] Łukasiewicz S. (2006): *A suggested modification of the method of drawing the wet 'humid' period in the Gaussen - Walter climate diagram*; Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią. Seria A - Geografia Fizyczna, vol. 57, pp. 95-99;
- [6] Maričić, S.; Mijušković - Svetinović, T. (2019): *Water levels of the major rivers in Slavonia // 16th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering*; 5-7 th September 2019; (WMHE 2019) Proceedings; Pelivanovski, P. i drugi (ed.); Ss Cyril and Methodius University, Civil Engineering Faculty - Skopje, Skopje, str. 181-193;
- [7] Maričić, S.; Mijušković - Svetinović, T. (2021): *The Maintenance of Agricultural Drainage Systems in the Conditions of Climate Change - The Jelas Polje Case Study*; Proceedings of 30th International Conference on Organization and Technology of Maintenance (OTO 2021); Glavaš, H. i drugi (ed.); Osijek; Cham: Springer International Publishing, str. 228-239;
- [8] Maričić, S. (2021): *Zaštita od suvišnih voda (dijela Jelas polja), Protection against excess water (part of Jelas Polje)*. Zbornik radova 19. Skupa i 12. međunarodni skupa o plinu, toplini i vodi PLIN 2021; Osijek, 22. - 25. rujna 2021.; Raos, P. & all (ed.), Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Osijek; str. 98-107;
- [9] Maričić, S. (2022): *Vodni parametri posavine (Water Parameters of Posavina)*; Zbornik radova: 3. BH Kongres o vodama (3rd B&H Water Congress), Sarajevo, Bosna i Hercegovina, 11. i 12. maj 2022., Kupusović, T. (ed.); Udruženje konzultanata inženjera Bosne i Hercegovine (Association of Consulting Engineers Bosnia and Herzegovina), str. 98-108;
- [10] Maričić, S. (2023): *Godina 2022. prema 100 prethodnih u vodostajima rijeka Kopačkog rita (The year 2022 according to the previous 100 in the water levels of the Kopački rit rivers)*; 12. Simpozij s međunarodnim sudjelovanjem „Kopački rit: jučer, danas, sutra 2023.“; Osijek, 28. - 29. rujna 2023.;

- [11] Mesić, M; Šestak, I. (2013): *Prilagodba na klimatske promjene i ublažavanje njezinih posljedica u poljoprivredi*, Utjecaj klimatskih promjena na poljoprivrednu proizvodnju Hrvatskoj, Agrometeorološko društvo - Zbornik radova Agrometeorologija u službi korisnika: „Klimatske promjene i poljoprivreda“, Zagreb, 14. studenog 2013., str. 9-10;
- [12] Narodne novine, broj 46/20 (2020): *Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu*, Hrvatski sabor, Zagreb;
- [13] Pörtner, H.-O.; Roberts, D.C.; Adams, H.; Adler, C.; Aldunce, P.; Ali, E.; Begum, R.A.; Betts, R. (2022): *Climate Change 2022 - Impacts, Adaptation and Vulnerability - Summary for Policymakers*, IPCC Sixth Assessment Report, 312 str.
- [14] Treder, W; Klimkowski, K.; Wójcik, K. (2018.): *A new approach to the method of drawing the Gaussen - Walter climate diagram*, Meteorology Hydrology and Water Management, vol. 6, issue 2, pp. 3-9;
- [15] Vučetić, V. (2013): *Utjecaj klimatskih promjena na poljoprivrednu proizvodnju Hrvatskoj*, Agrometeorološko društvo - Zbornik radova Agrometeorologija u službi korisnika: „Klimatske promjene i poljoprivreda“, Zagreb, 14. studenog 2013., str: 1-2;
- [16] Walter H. (1955): *Die Klimadiagramme als Mittel zur Beurteilung der Klimaverhältnisse für ökologische, vegetationskundliche und landwirtschaftliche Zwecke*; Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, vol. 68, pp. 331-344;
- [17] Žugaj, R. (2015): *Hidrologija*, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko – geološko - naftni fakultet, Zagreb, 538 str.

AUTOR

mr. sc. Siniša Maričić, dipl. ing. građ. ^a

^a Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Ulica Vladimira Preloga 3, 31000 Osijek, Hrvatska, smaricic@gfos.hr



R 1.05.

ANALIZA POJAVNOSTI SUŠA I POPLAVA U OSIJEKU

Tamara Brleković, Lidija Tadić, Josip Janjić, João Filipe Santos

SAŽETAK: Suša se, kao razdoblje koje definira suho vrijeme dovoljno dugog trajanja da uzrokuje poremećaj hidrološke ravnoteže, manifestira kroz meteorološke, hidrološke i agronomske parametre. Kako je pojava suše sve izraženija i ima sve značajnije posljedice, velika se pažnja posvećuje njenom analiziranju i predviđanju. Iako postoje brojni indeksi za proračun suše, u ovom će se radu analiza suše provesti preko Indeksa standardiziranih oborina i evapotranspiracije (engl. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI) koji, osim oborina, obuhvaća i utjecaj temperature preko evapotranspiracije. Uz sušu, u radu će se proučiti i pojavnost druge ekstremne hidrološke pojave na području Osijeka, a to su poplave i to obzirom na elemente za proglašenje i prestanak mjera obrane od poplava te zabilježene dnevne vodostaje rijeke Drave. Na području Osijeka, kao i okolici, poplave se bilježe već od 18. stoljeća, i kao i u ostalim područjima, imaju dalekosežne posljedice. Njihovo proučavanje je važno kako bi se smanjile negativne posljedice i poboljšalo njihovo predviđanje. Obzirom na važnost i posljedice koje nose sa sobom, u radu će se analizirati pojavnost i trajanje ovih hidroloških pojava preko RAPS metode za razdoblje od 1950. do 2021. godine na području Grada Osijeka.

KLJUČNE RIJEČI: Suše, Indeks standardiziranih oborina i evapotranspiracije (SPEI), Poplave, Osijek, RAPS

ANALYSIS OF DROUGHT AND FLOOD OCCURRENCE IN OSIJEK

ABSTRACT: Drought, as a period that defines dry weather of long enough duration to cause disruption of the hydrological balance, is manifested through meteorological, hydrological and agronomic parameters. As drought becomes more pronounced, with more significant consequences, great attention is paid to its analysis and prediction. Although there are numerous indices for drought calculation, in this paper the drought analysis will be carried out using the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), which, in addition to precipitation, also includes the influence of temperature through evapotranspiration. In addition to drought, the paper will also study the occurrence of another extreme hydrological phenomenon in the area of Osijek. Floods are also analyzed with regard to the elements for the declaration and termination of flood defense measures and the recorded water levels of the Drava River. In the area of Osijek, as well as in the surrounding area, floods have been recorded since the 18th century, and, as in other areas, they have far-reaching consequences. Studying floods and drought is important in order

to reduce their negative consequences and improve their prediction. Considering their importance and consequences, the paper will analyze the occurrence and duration of these hydrological phenomena using the RAPS method in the period from 1950 to 2021 in the City of Osijek.

KEYWORDS: Drought, Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), Floods, Osijek, RAPS method

1. UVOD

Povećanje učestalosti ekstremnih hidroloških pojava, suša i poplava, jedna je od karakteristika klimatskih promjena. Pri tome suše, za razliku od poplava imaju izrazito globalni karakter i potvrđeno je njihovo povećanje trajanja i jakosti u gotovo svim dijelovima svijeta (Lloyd-Hughes i drugi, 2012). Suša se definira se kao razdoblje koje obilježava suho vrijeme dovoljno dugog trajanja da uzrokuje poremećaj hidrološke ravnoteže, a manifestira kroz meteorološke, hidrološke agronomске parametre. Osim što su globalnog karatera, suše su i izrazito složene pojave zato što se teško mogu predvidjeti, uočavaju se tek kada su već prisutne tjednima ili mjesecima i imaju dalekosežne posljedice koje se teško mogu izbjeći. Obzirom na složenost i učestalo pojavljivanje diljem svijeta, razvile su se brojne metode, koje se nazivaju indeksi, za proračun suše. Oni su uglavnom bazirani na meteorološkim (oborine i temperature) i hidrološkim parametrima (protoci i vodostaji), ali mogu biti i na udjelu vlage u tlu, razinama podzemne vode i podacima dobivenim daljinskim istraživanjima (WMO, 2016). Najčešće korišteni su oni bazirani na meteorološkim podacima kao što su Indeks standardiziranih oborina (engl. Standardized Precipitation Index SPI), Indeks anomalije oborina (engl. Rainfall Anomaly Index RAI), Indeks standardiziranih oborina i evapotranspiracije (engl. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index SPEI), Palmerov Z indeks (engl. Palmer Z Index).

U radu se koristio za proračun suše Indeks standardiziranih oborina i evapotranspiracije (SPEI). Sličan je Indeksu standardiziranih oborina, ali uzima u obzir i temperaturu preko evapotranspiracije, a ne samo oborinu (Vicente-Serrano i drugi, 2010, Liu i drugi, 2015; Liu i drugi, 2019). Temperatura predstavlja vrlo važan faktor kod analize klimatskih promjena obzirom da svi klimatski scenariji predviđaju povećanje srednje godišnje temeperature (IPCC, 2022). Dosadašnje analize na području Hrvatske su već pokazale porast temperatura u zadnim dekadama (Bonacci, 2010; Tadić i drugi, 2015).

Koliko je važno analizirati i proćavati suše, govore i podaci o tome kolika šteta proizlazi iz sušnih razdoblja. Prema ravateljstvu civilne zaštite, u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 1980. do 1993. godine, na sušu je otpalo 42 % svih materijalnih šteta uzrokovanih prirodnim nepogodama, do je u razdoblju od 1995. do 2014. ta brojka iznosila 39 % (Hrvatska platforma za smanjenje rizika od katastrofa, 2020).

Osijek, osim što je izložen sušama, smješten je uz rijeku Dravu pa je izložen i poplavama, drugom ekstremu. Poplave se na ovom području bilježe od 18. stoljeća i bilo da su uzrokovane antropogenim aktivnostima ili klimatskim varijabilnostima, imaju dalekosežne posljedice pa su se i one razmatrale u ovom radu.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Proračun suše

Sušna razdoblja su određivana za razdoblje od 1950. do 2021. godine na području Grada Osijeka preko Indeksa standardiziranih oborina i evapotranspiracije (SPEI).

Višeparametarski indeks standardiziranih oborina i evapotranspiracije (SPEI) nastao je sa ciljem poboljšanja SPI metode uvođenjem u proračun temperature zraka, a korišten je diljem svijeta ((WMO, 2016) Proračun je vrlo jednostavan i zasnovan je na originalnoj metodi – umjesto mjesečnih količina oborina kao ulazni podatci koristi se razlika mjesečnih količina oborina i mjesečne potencijalne evapotranspiracije (Vicente-Serrano i drugi, 2012). Indeks SPEI se može određivati na vremenskoj bazi od 1, 3, 6, 12 i 24 mjeseca. U ovom su radu korištene vrijednosti koje odgovaraju jednom mjesecu, a kategorije definirane obzirom na vrijednost SPEI indeksa su prikazane na Slici 1, a prema (Vicente-Serrano i drugi, 2012). Evapotranspiracija je izračunata prema Thornthwaite metodi.

Na dobivene vrijednosti indeksa SPEI primijenjena je metoda koraka koja se sastoji u tome da se izdvoje sušna razdoblja i definiraju obzirom na trajanje, jakost i intenzitet. Jakost predstavlja zbroj svih SPEI vrijednosti unutar jednog razdoblja, trajanje je broj mjeseci u kojima se pojavila uzastopna vrijednost SPEI indeksa manja od -1, a intenzitet predstavlja omjer jakosti i trajanja.

Na cjelokupni niz doviđenih trajanja, odnosno broja mjeseci unutar jedne godine s vrijednošću SPEI indeksa < -1 primijenjena je RAPS metoda (eng. Rescaled Adjusted Partial Sums). Grafički prikaz RAPS-a ukazuje na podrazdoblja sa sličnim karakteristikama, veći broj trendova, nagle skokove ili padove vrijednosti, neregularne fluktuacije, postojanje periodičnosti u analiziranom vremenskom nizu itd.

Izraz za proračun RAPS-a (Garbrecht i Fernandez 1994):

$$RAPS_k = \sum_{t=1}^k \frac{Y_t - \bar{Y}}{S_y} \quad (1)$$

gdje je:

\bar{Y} = prosječna vrijednost razmatranog vremenskog niza

S_y = standardna devijacija istog niza

Y_t = srednja godišnja temperatura zraka u godini t

$k = 1, 2, \dots, n$

n = broj podataka u vremenskom nizu

2.2. Definiranje poplavnih situacija

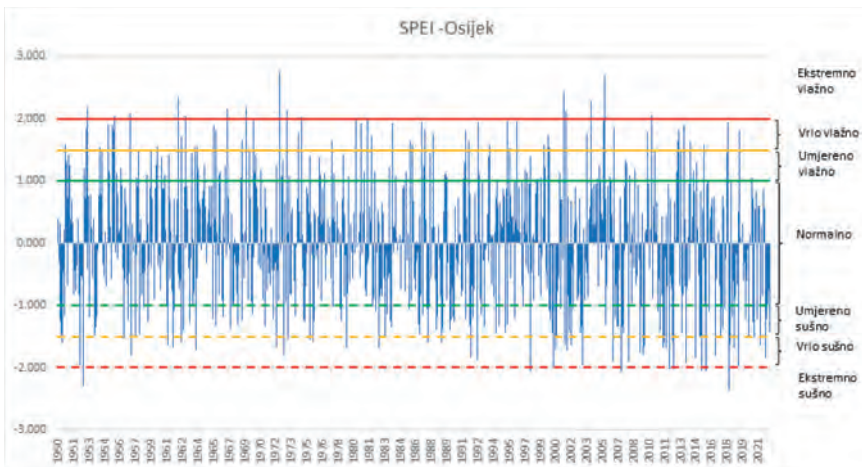
Za analizu poplavnih razdoblja korišten je niz dnevnih vodostaja rijeke Drave od 1950. do 2022. godine zabilježen na mjernoj postaji Osijek. Kao i kod svake mjerne postaje, i za ovu su definirani elemeti za proglašenje i prestanak mjera obrane od poplava: pripremno stanje, redovna obrana, izvanredna obrana, izvanredno stanje i najviši zabilježeni vodostaj.

Za analizu u ovom radu je definiran broj dana u godini s vodostajem jednakim ili većim od onoga koji odgovara vodostaju mjerodavnom za proglašenje redovnih mjera od poplava, a to je 84,98 m n.m. Na tako dobiveni niz primjenjena je RAPS metoda opisana u prethodnom poglavlju.

3. REZULTATI

3.1. Proračun suše

Prikaz dobivenih vrijednosti SPEI indeksa prikazan je na Slici 1. Vrijednosti manje od -1 se odnose na sušna razdoblja, od -1 do 1 upućuju na normalno stanje, a vrijednosti veće od 1 se odnose na vlažna razdoblja.



Slika 1. Vrijednosti SPEI indeksa za razdoblje od 1950. do 2021. godine s naznačenim kategorijama

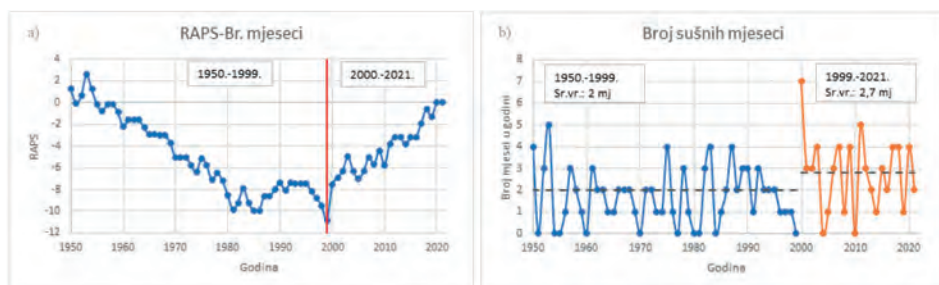
Na Slici 1 je vidljiva izmjena vlažnih i sušnih razdoblja s pojedinim ekstremima unutar promatranog razdoblja. Kod vlažnih razdoblja, ekstremi su se pojavili 1952., 1962., 1972., 2001., 2005. godine s iznosima SPEI > 2. Što se tiče sušnih razdoblja, najniže vrijednosti SPEI indeksa su bile 1952., 2007., 2015. i 2018. godine (SPEI < -2). Zanimljivo je što su se u 1952. godini dogodila oba ekstrema.

Zatim se prema metodi koraka pristupilo daljnjoj analizi koja je pokazala da prema sumi jakosti svih sušnih razdoblja unutar godine, prednjači 2000. godina (suma -10,28), zatim 2011., 2015., 2018. i 2003. godina. Obzirom na trajanje suše, odnosno broj mjeseci u kojima se pojavila vrijednost SPEI indeksa manja od -1, prednjače godine 2000. sa sedam sušnih mjeseci te 1953. i 2011. s pet sušnih mjeseci.

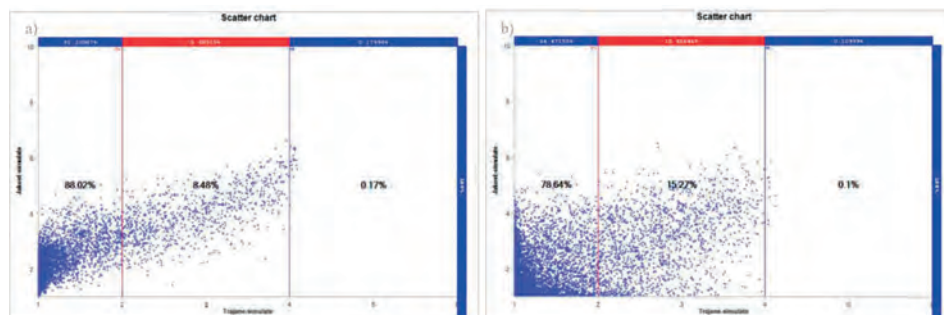
Broj sušnih mjeseci, odnosno koliko mjeseci u godini se pojavljivala suša, se analizirao i preko metode RAPS kako bi se uvidjelo postoje li podrazdoblja unutar ukupnog promatranog razdoblja. Rezultati pokazuju (Slika 2.) da se izdvajaju dva podrazdoblja: prvo od 1950. do 1999. s trendom opadanja RAPS vrijednosti, a drugo od 2000. do 2021. godine koje karakterizira povećanje RAPS vrijednosti. Statistička značajnost na razini ($p < 0,05$) dobivenih podrazdoblja potvrđena je i F-testom i t-testom na originalnom nizu.

U prvom podrazdoblju srednja vrijednost broja sušnih mjeseci u godini iznosi 2, a u drugom podrazdoblju 2,7.

Obzirom na dobivena dva podrazdoblja s različitim karakteristikama, određena je preko funkcije kopule i vjerojatnost pojavljivanja suše trajanja 2 mjeseca i manje, 2 do 4 mjeseca i preko 4 mjeseca za oba podrazdoblja. Kopula (engl. copula) predstavlja zajedničku distribucijsku funkciju dvije ili više slučajne varijable (Sraj et al., 2014) Ovom se funkcijom opisuje ovisnost između dvije ili više nezavisne varijable, a samo značenje riječi dolazi od latinskog izraza koji znači povezati, spojiti. Kopula se mogla koristiti zbog velike vrijednosti koeficijenta korelacije između trajanja i jakosti (0,92). Rezultati pokazuju da je u drugom podrazdoblju veća vjerojatnost pojavljivanja suše trajanja od 2 do 4 mjeseca nego u prvom (povećanje s 8,48 % na 15,27 %), a manja vjerojatnost pojave suše koja traje 2 mjeseca i manje (Slika 3).



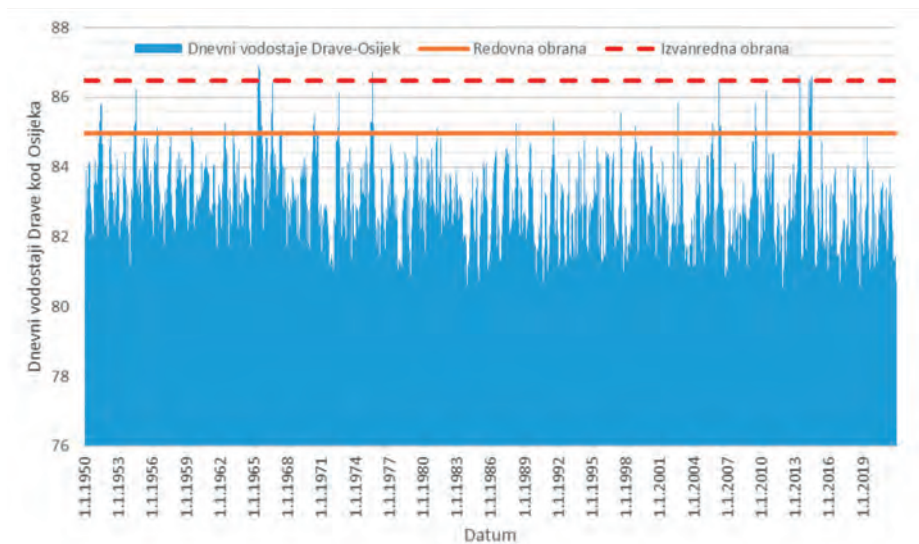
Slika 2. a) RAPS vrijednosti broja sušnih mjeseci unutar pojedine godine
b) podrazdoblja dobivena RAPS metodom



Slika 3. a) Vjerojatnost pojavljivanja suše trajanja manje od 2 mjeseca, 2 do 4 i više od 4 mjeseca za razdoblje a) 1950. - 1999. b) 2000. - 2021.

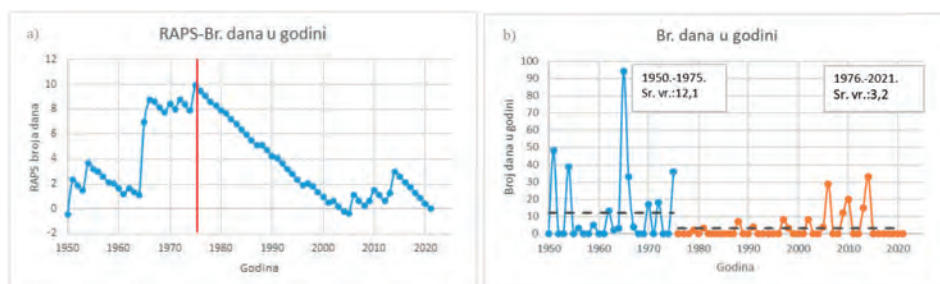
3.2. Definiranje poplavnih situacija

Na Slici 4. su prikazani dnevni vodostaji rijeke Drave kod Osijeka za promatrano razdoblje od 1950. do 2021. godine s naznačenim vodostajem koji odgovara redovnoj obrani od poplava (84,98 m n.m.) te izvanrednoj obrani (86,48 m n.m.). Najveći vodostaj zabilježen unutar toga razdoblja iznosi 86,901 m n.m. na datum 25. lipnja 1965.



Slika 4. Dnevni vodostaji rijeke Drave kod Osijeka za promatrano razdoblje od 1950. do 2021. godine

I kod ove analize je promatrana vremenska komponenta, odnosno broj dana u godini s pojavljivanjem vodostaja jednakim ili većim od 84,98 m. Najveći broj dana zabilježen je u 1965. godini, čak 94. I ovdje je primjenjena RAPS metoda kako bi se ustanovilo postojanje potencijalnih podrazdoblja. Na Slici 4. su prikazani dobiveni rezultati.



Slika 5. a) RAPS vrijednosti broja dana u godini s vodostajem većim od 84.98 m n.m. b) Podrazdoblja dobivena RAPS metodom

I ovdje se izvdaju dva podrazdoblja čija je statistička značajnost potvrđena F-testom i t-testom. U prvom podrazdoblju, koje je od 1950. do 1975. godine, srednja vrijednost broja dana u godini iznosi 12,1, dok u drugom podrazdoblju (1976. do 2021.) ta je vrijednost značajno manja, a iznosi 3,2 dana (Slika 5). Ovdje treba spomenuti da se dobiveni rezultati mogu povezati s izgrađenim hidroelektranama na rijeci Dravi uzvodno od Osijeka: HE Varaždin, 1975., HE Čakovec 1982. i HE Dubrava 1989. god. Obzirom na blizinu ušća Drave u Dunav, Osijek je uslijed uspora ugrožen i visokim vodostajima Dunava koji također uzorkuju poplave u Osijeku (Dadić i drugi, 2015).

ZAKLJUČAK

Klimatske promjene i sve češći ekstremi sve više dolaze do izražaja pa se tako u ovom radu promatrala pojavnost ekstremnih pojava u Osijeku. Rezultati provedenih analiza su pokazali da su najsušnije godine (prema različitim kriterijima) bile 2000., 2003., 2011. te 2018. Obzirom na provedene detaljnije analize trajanja suše, RAPS metoda je pokazala da postoje dva podrazdoblja. U prvom koje traje od 1950. - 1999. je primjetan trend opadanja, odnosno karakterizira ga manji broj sušnih mjeseci nego u drugom podrazdoblju (2000. - 2021.). Drugo podrazdoblje karakterizira i veća vjerojatnost pojave suše dužeg trajanja, dok se vjerojatnost suše koja traje mjesec ili dva smanjila.

S druge strane, analiza učestalosti poplava u Osijeku, druge ekstremne hidrološke pojave, je pokazala suprotne rezultate. Naime, i tu su se izdvojila dva podrazdoblja (1950. - 1975. i 1976. - 2021.), ali ovdje je prvo podrazdoblje s većim brojem „poplavnih“ dana u godini nego drugo i to s velikom razlikom. S tim da ovdje treba naglasiti da za razliku od suša, koje se promatraju isključivo kao klimatske varijabilnosti, ovdje su došle do izražaja direktne antropogene aktivnosti jer je moguć uzrok pada vodostaja rijeke Drave kod Osijeka izgradnja uzvodnih hidroelektrana, a na same poplave u Osijeku ima utjecaj i Dunav. Ovo samo potvrđuje složenost analiziranih hidroloških pojava.

Provedene analize su pokazale da se na području Osijeka suša pogoršava, odnosno traje sve duže, od 2000. godine, dok broj dana s visokim vodostajem Drave opada. Ipak, ekstremi su nepredvidivi, a uzrokuju dalekosežne posljedice pa svakako treba provoditi daljnja istraživanja i praćenja kako bi se moglo pravovremeno reagirati i bar ublažiti izazvane posljedice.

LITERATURA

- [1] Dadić, T., Tadić, L., Bonacci, O., (2015): Utjecaj Drave i Dunava kroz povijest na poplave u Osijeku, Hrvatske Vode, 94, 287-294.
- [2] Garbrecht, J., Fernandez, G.P., (1994): Visualization of trends and fluctuations in climatic records, Water Resources Bulletin 30/2, 297-306.
- [3] Hrvatska platforma za smanjenje rizika od katastrofa, (2020): Što je smanjenje rizika od katastrofa i zašto je važno ?, Ministarstvo unutarnjih poslova, Ravnateljstvo civilne zaštite, Zagreb, 2-10.
- [4] Liu, Y., Chen, S., Sun, H., Gui, D., Xue, J., Lei J., Zeng, X., Lv, G., (2019): Does the long-term precipitation variations and dry-wet conditions exist in the arid areas? A case study from China, Quaternary International, 519, 3-9.
- [5] Liu, X., Wang, S., Zhou, Y., Wang, F., Li, W., Liu, W., (2015): Regionalization and Spatiotemporal Variation of Drought in China Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (1961–2013), Advances in Meteorology, 2015, 1-18.
- [6] Lloyd-Hughes, B., Shaffrey, L.C., Vidale, P.L., Arnell, N.W., (2012): An evaluation of the spatiotemporal structure of large-scale European drought within the HiGEM climate model, International Journal of Climatology, 33/8, 2024– 2035.

- [7] Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Trisos, C.H., Simpson, N.P., Möller, V., (2022): Summary for Policymakers: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, United Kingdom, New York, NY, USA, 3-33.
- [8] Sraj, M., Bezak, N., Brilly, M., (2015): Bivariate flood frequency analysis using the copula function: A case study of the Litija station on the Sava River, *Hydrological Process*, 29/2, 225-238
- [9] Svoboda, M., Fuchs, B.A., (2016): *Handbook of Drought Indicators and Indices*, World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), Geneva, 45.
- [10] Tadić, L., Dadić, T., Bosak, M., (2015): Usporedba različitih metoda za ocjenu suše na području kontinentalne Hrvatske, *Građevinar*, 67/1, 11-22.
- [11] Vicente-Serrano, S.M., Beguaria, S., López-Moreno, J.I., (2010): A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, *Journal of Climate*, 23/7, 1696-1718.

AAUTORI

izv. prof. dr. sc. Tamara Brleković, mag. ing. aedif. ^a

prof. dr. sc. Lidija Tadić, dipl. ing. građ. ^b

Josip Janjić, mag. ing. aedif. ^c

prof. João Filipe Santos ^d

^{a,b,c} Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Ulica Vladimira Preloga 3, 31000 Osijek, Hrvatska, tamaradadic@gfos.hr, ltadic@gfos.hr; jjanjic@gfos.hr

^d Polytechnic Institute of Beja, Rua Pedro Soares, Campus do Instituto Politécnico de Beja, Apartado 6155, 7800-295 Beja, Portugal, joaof.santos@ipbeja.pt



R 1.06.

KLIMATSKE PROMJENE I DRUŠTVENO - HIDROLOŠKI EFEKTI U DONJEM TOKU NERETVE

Jure Margeta

SAŽETAK: Rad prezentira povijesni slijed razvoja vodnih resursa i međuodnos s društveno - ekonomskim sustavom u dolini Neretve. Promjena energije okoliša mijenja klimu, a klima i energija voda oblikuju prostor, hidrološki sustav, narodno gospodarstvo, opstojnost naroda i moć države. U XIX. stoljeću hidrotehničkim radovima i razvojem infrastrukture stvorili su se uvjeti za napredak koji traje do danas. Međutim, klimatske promjene i rast srednje razine mora su nova / stara prijetnja. Budućnost je neizvjesna a pravovremena provedba učinkovitih mjera adaptacije i jačanja otpornosti u cijelom slivu odrediti će sigurnost prirodnog i održivost društveno - ekonomskog sustava.

KLJUČNE RIJEČI: Društveno - hidrološke promjene, Klimatske promjene, Neretva, Vodna infrastruktura

CLIMATE CHANGES AND SOCIO - HYDROLOGICAL EFFECTS IN THE LOWER COURSE OF THE NERETVA

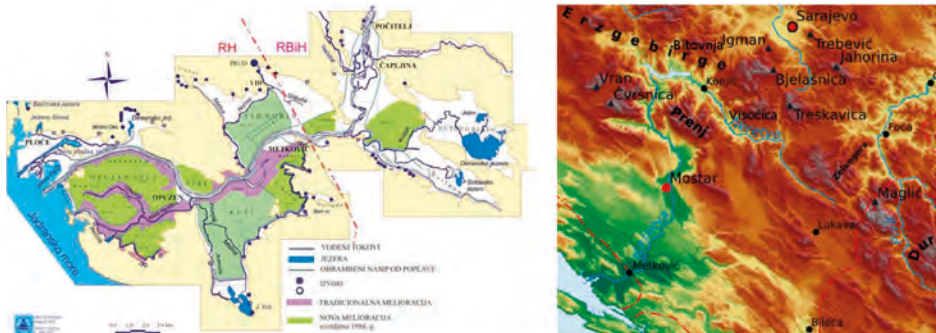
ABSTRACT: The paper presents a historical sequence of the development of water resources and its interrelationship with the socio - economic system in the Neretva valley. Change of environmental energy changes climate, while climate and water energy shape the space, hydrological system, national economy, survival of the people and the power of the state. In the 19th century, hydrotechnical works and infrastructure development created conditions for the progress that continues to this day. However, climate change and rising mean sea levels are a new / old threat. The future is uncertain, and a timely implementation of effective adaptation measures and strengthening of resilience in the entire basin will determine the safety of the natural system and the sustainability of the socio - economic system.

KEYWORDS: Socio - hydrological changes, Climate change, Neretva, Water infrastructure

1. UVOD

Predmet rada su vode, uloga vode i vodnog inženjerstva u opstojnosti i razvoju doline Neretve, Slika 1. Analizira se povijesni slijed međuodnosa prirodnog i društveno - ekonomskog sustava. Glavni prirodni čimbenici promjena su klima i rast srednje razine mora. Proučava se povijesni slijed promjena „izloženost - osjetljivost - kapacitet prilagodbe“

sustava u odnosu na klimatske i druge pritiske. Osjetljivost određuje potencijal utjecaja podneblja kao što je to razina mora, izloženost određuje prirodu i veličinu pritiska na sustav, dok kapacitet prilagodbe opisuje stabilnost / opstojnost sustava u odnosu na prijetnje.



Slika 1. Sadašnje stanje u Donjoj Neretvi (Vranješ i drugi, 2013)

Povijesni slijed međuodnosa prirodnog i društveno-ekonomskog sustava u dolini Neretve je nedovoljno poznat. Poznajemo sadašnje stanje te dinamiku promjena. Znamo i generalni trend promjena klime, ali nismo sigurni u dinamiku i veličinu promjena (IPCC, 2022). Zato kažemo da je budućnost neizvjesna. Nastojimo razumjeti povijest vodnih resursa i sadašnjost, a sve kako bismo uspješno rješavali buduće prijetnje.

Prirodna osnova šireg područja pripada klasičnom krškom području Dinarida koje oblikuje podzemna i nadzemna dobra, Slika 1. Rijeka Neretva oblikuje dolinu i deltu te je ključni čimbenik razumijevanja promjena geomorfološkog stanja. Dugačka je 240 km, a veličina sliva je oko 10.100 km². Ima više od 30 stalnih i povremenih pritoka. Prosječna visina sliva je 250 m n.m., a izvire na visini od 1.095 m n.m. Prosječna oborina je 1.650 mm. Prosječni protok je 269 m³/s, minimalni 44 m³/s (vjerojatnost 0,05) a maksimalni 2.179 m³/s (vjerojatnost 0,1). Promjene protoka su brze i velike (Margeta, 2000).

Rijeka ima tri karakteristične funkcionalne zone, strmi uzvodni brdsko - planinski dio (gornji riječni tok) koji čini produktivnu zonu, blaži nizinski dio koji čini tranzitnu zonu (srednji riječni tok) te deltu s vrlo malim padom koji čini akumulacijsku zonu (donji riječni tok). Zone se odnose na vodu i sediment, a raspored zona određuje gravitacijska potencijalna energija rijeke. Smanjenje pada korita rijeke i energije toka vode mijenjaju riječni sustav i dovode do porasta obala, širine kanala i smanjenja veličine pridnenog materijala. Konfiguracija riječnog sustava je rezultat kratkotrajnih promjena i dugoročne evolucije u formiranju lokalne stabilne konfiguracije kanala na principu minimalne snage toka vode te ukupne dinamičke ravnoteže riječnog sustava na principima minimalne potrošnje energije. Gornji tok je u kanjonu, strm i povoljan za proizvodnju hidroenergije tako da je do sada izgrađeno 9 hidroelektrana. U srednjem toku od Čapljine do mora otječe kroz tri blage udoline. Prvo najstarijom aluvijalnom udolinom (4 - 6 m n.m.) koja se sužava kod Gabele. Bogate krške obodne vode udoline rijekom Krupom otječu u Neretvu kod Gabele. Nakon Gabele rijeka teče drugom mlađom udolinom (2 - 4 m n.m.) do Opuzena gdje se u rijeku na lijevoj obali ulijevaju Mislina, a na desnoj Norin, Slika 1. Nakon Opuzena do mora formirana je treća udolina/delta (0,2 - 2 m n.m.) koja je prije

melioracije bila funkcionalno klasična delta. Rijeka je od Metkovića do mora regulirana, a delta dijelom meliorirana. Formirano je više melioriranih poldera s kotom terena od 0,2 do 2,0 m, omeđenih nasipima. Time je transport voda i sedimenta između glavnog toka i zaobalja prekinut pa se zona transporta sedimenta produljila do ušća. Time se zona akumulacije premjestila iza ušća pa je funkcija delte nestala, a današnje stanje su ostaci. U Opuzenu se račva u kanal Mala Neretva, a nizvodnije u kanal povezan s Crnom rijekom. U more dotječe točkasto na više lokacija te podzemno duž korita i obale mora. Krški hidrološki sustav u kišnom razdoblju brzo reagira na oborine te stvara veliki protok i uzrokuje poplave. Zato je otpornost velikih voda na klimatske promjene mala. Prije gradnji akumulacija i regulacije rijeke poplave su bile redovita pojava koja je donosila sediment i stvarala dolinu i deltu. Zbog građe dubljih slojeva kapacitet zadržavanja vode (retencijski kapacitet) u odnosu na male vode je velik, pa je otpornost malih voda veća.

Od 1992. delta rijeke je kao ihtiološko - ornitološki rezervat pod zaštitom UNESCO-a., a u BiH je to Hutovo blato (od 2001.). Kao ornitološki rezervati zaštićeni su lokaliteti Pod Gredom, Prud i Orepak, a od 2020. je donesena uredba o proglašavanju posebnih ornitoloških rezervata "Modro oko i jezero Desne", "Ušće Neretve" i "Kuti" (Narodne novine, broj 84/20). Upravljanje vodama je složeno jer su se u donjem toku rijeke razvila brojna naselja, više od 28, i prateći narodni kapitali (prometni, vodni, energetski). Neka veća naselja, kao što je bila Naronna te više manjih su nestali. Današnje stanje je rezultat sporih dugotrajnih egzogenih procesa te brzih koje je čovjek uzrokovao regulacijskim i melioracijskim radovima u XIX. i XX. stoljeću.

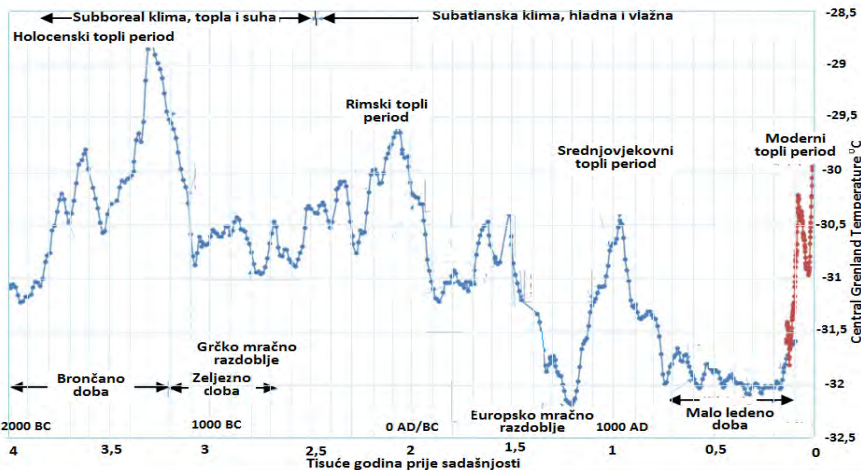
2. VREMENSKI SLIJED PROMJENA

Socio - hidrologija se definira kao interakcija ljudi i vode, to jest kao "znanost o ljudima i vodi". Proučavaju se dvosmjerne povratne veze između sustava čovjek - voda. Ključni elementi su klima, hidrološki procesi, vodna bogatstva, geomorfologija, razina mora, urbanizacija. U ovom radu slijed promjena se razmatra u razdobljima: prapovijest (3200. - 1100. g. prije n.e.), Antika (1100. godine prije n.e. - 476.), srednji vijek (476. - 1400.), Otomansko carstvo (1400. - 1850.), te moderno doba (1850. do danas).

2.1. Promjene klime i srednje razine mora

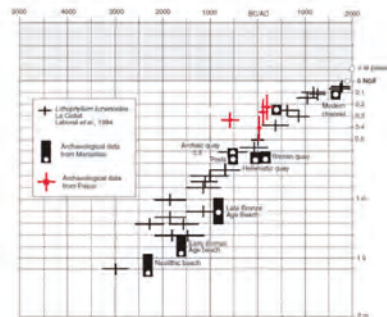
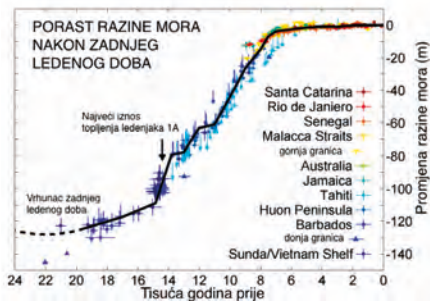
Promjene klime do modernog doba su bile rezultat prirodnih čimbenika, a od 1850. godine su sve više pod utjecajem čovjeka. U prapovijesti klima je bila toplija nego danas i suha (subboreal klima) te je pogodovala okolišu i ljudima (holocenski klimatski optimum). Nakon tog razdoblja nastaje „Subatlantic“ koji je trenutno klimatsko doba, Slika 2. Naronna, Salona i drugi rimski gradovi u Dalmaciji nastali su u „Early Subatlantic“ (900 g. pr. Kr. do 175. godine) i opstali sve do kraja „Mid-Subatlantic“ (175. - 750.). Klima je bila vlažnija i hladnija nego danas (McCormick i drugi, 2012). Međutim, kad god se solarna radijacija dramatično smanjila, a vulkanske aktivnosti povećale, dolazi do globalnog pada temperature, promjene režima oborina i problema s prehranom stanovništva. Zato je u zadnjih 4.500 godina došlo do 45 većih smanjenja temperature i hladnog razdoblja različitog trajanja, a 2 smanjenja kraćeg trajanja su bila od 1970. godine (McCormick i drugi, 2012.). U antičkom razdoblju temperatura zraka je rasla i dosegla svoj maksimum oko 50 god. U razdoblju od 27 g. pr. Kr. - 476. godine klima se erupcijama vulkana mijenjala,

postajala hladnija te značajno utjecala na prirodu i društvo. Javljuju se problemi u prehrani stanovništva što dovodi do migracija naroda i na kraju pada Rimskog Carstva 476. godine (Slika 2). Pod utjecajem erupcija vulkana u srednjovjekovnom razdoblju klima se nastavila mijenjati što je potaklo nove migracije (Buntegen i drugi, 2011). U isto vrijeme se pojavila Justinijanova kuga (541. - 542.). To je razdoblje poznato kao *mračno doba* Europe jer je 1/3 stanovništva umrla, Slika 2. Od 750. do 1050. godine dolazi do zatopljenja i smanjenja klimatskih varijabilnosti. To je razdoblje *srednjovjekovnog klimatskog optimuma*. Potom dolazi do smanjenja temperature uzrokovane erupcijama vulkana, širenja arktičkog leda te nastaje *malo ledeno doba* koje je trajalo sve do 1800. godine, Slika 2.



Slika 2. Central temperatura na Grenlandu (Prilagođeno prema May, 2016)

Glad je sve veća kao i širenje zaraza tako da 2/3 stanovništva umire. Od 1860. temperatura zraka raste i stvara moderni klimatski optimum koji traje do danas. Početkom XX. stoljeća temperatura i vremenske varijabilnosti ponovo rastu i prijete modernom društvu. Tijekom povijesti rast razine mora je imao najveći utjecaj na razvoj delte i položaj ušća. U ledeno doba razina mora je bila oko 125 m niža (Slika 3a), pa je ušće bilo dalje od današnje obale ispod mora. Zatopljenjem mora i zraka dolazi do brzog rasta razine mora što uzrokuje pomicanje ušća i obalne crte prema unutrašnjosti kontinenta te se formira zaljev, Slika 3a.



- a) Prapovijesno stanje razine mora (Porast razine mora, Wikipedia) b) Relativni rast srednje razine mora na Mediteranu (Morhange i drugi, 2013)

Slika 3. Rast razine mora prije modernog doba

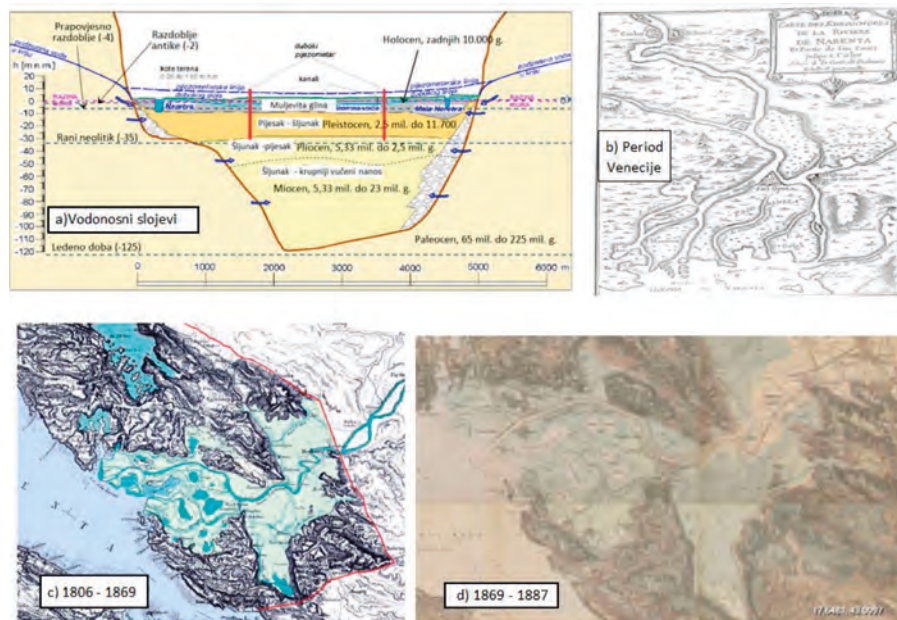
To je razdoblje u kojem je razina mora rasla brže od stvaranja riječnih dolina. Zahlađenjem rast usporava tako da akumulacijski procesi pomiču ušće nizvodno. U ranom neolitiku more je bilo oko - 35 m od današnjeg (prije 10.000. godina) a prije 5.000 godina, na početku prapovijesnog razdoblja - 4 m od današnjeg. Rast razine mora je sve manji pa se ušće pomiče iz unutrašnjosti prema sadašnjem položaju. To bi moglo biti razdoblje formiranja doline Neretve kakvu danas poznajemo. U Jadranskom moru srednja razina mora prije 2000. godine je bila - $1,26 \pm 0,06$ m (Lambecka i drugi, 2004). Rast razine mora prvih 900 godina je usporio pa se stvaraju uvjeti za rast doline i široke delte, Slika 3b. Poslije 900 godina rast razine mora ubrzava, da bi zadnjih 100 godina rast bio 1,8 mm/god. pa je razina mora porasla za 20,32 cm (Climate Central). Zadnjih 7 godina rast još ubrzava na 3,1 mm/god. što je najbrže u povijesti.

2.2. Evolucija riječnog sustava i društveno-hidrološke promjene

Geomorfološki procesi stvaraju materijal koji voda erodira, transportira i taloži duž toka te tako stvara tlo, poplavne fluvijalne doline i deltu. Klima definira ulaz dok struktura sustava definira kapacitet zadržavanja vode i potencijalnu transformaciju energije i disipaciju nereguliranog vodnog sustava u različitim vremenskim razdobljima (vlažno, sušno) te bilancu sedimenta (eroziju, transport i akumulaciju). Klimatske promjene sporo mijenjaju procese gubitka energije kako bi se prevladao otpor protoku u prostornom samoorganiziranom riječnom sustavu. Kako su tektonske i geološke promjene stabilne u duljem razdoblju, najveći utjecaj na formiranje doline i delte ima razina mora, Slika 4a. Tako povijesni slijed promjena razine mora i klime (protoka) određuje slijed formiranja riječnog sustava. Istovremeno, povijesni slijed nastajanja naselja i broj stanovnika određuje razvijenost društva u hidromorfološkom i klimatskom podneblju. Nastanak doline i delte se dijeli u dva razdoblja: (i) razdoblje nastanka isključivo prirodnim silama i procesima, a to je do modernog doba (1850.) Slika 4b - 4c, te (ii) razdoblje nakon 1850. godine, kad čovjek regulacijom rijeke i melioracijom delte mijenja prirodne fluvijalne procese, a ispuštanjem stakleničkih plinova mijenja klimu i ubrzava rast razine mora, Slika 4d i 1. U razdoblju do 1850. godine riječni sustav je evoluirao shodno slijedu promjene

srednje razine mora. To je razdoblje u kojem je čovjek izbjegavao naseljavanje delte. Tijekom prapovijesti i Antike postepeno se formira riječni sustav, delta i ušće. Smanjenjem energije toka vode, uzrokovanim rastom razine mora, taloži se krupni materijal i podiže dno. Time je nastalim smanjenjem pada dna i usporavanjem toka rijeke u delti intenziviraju akumulacijski procesi koji popunjavaju prostor i sukcesivno kroz povijest stvaraju suhu dolinu od Čapljinine do Opuzena, Slika 4a - 4c. Kontakt mora i podzemnih voda se odvija na širokom prostoru duboko u kopno i po rubu doline gdje slatka voda koja pluta na morskoj otječe u pravcu mora. Lokalne krške bujične vode i podzemne vode donose male količine sedimenta i ne grade terase. Zato se po rubu doline i delte nalaze izvori i slobodne vodne površine a ne riječne terase, Slika 4. Opisano dinamiku potvrđuju današnje naslage u delti, Slika 4a, (Deković, 2015). Od 1850. stanje se brzo mijenja jer je čovjek odlučio prilagoditi vodni okoliš svojim potrebama. Rijeka i pritoke se reguliraju, a močvara postepeno meliorira, Slika 1, 4d. Time se mijenjaju procesi transporta i akumuliranja sedimenta, to jest osjetljivost i kapacitet prilagodbe klimatskim promjenama. Zbog zatvaranja, delta gubi funkciju akumulacije sedimenta pa entropija raste. Sve se nastavlja u XX. stoljeću gradnjom akumulacija i hidroelektrana u gornjem toku rijeke što zajedno određuje sadašnju osjetljivost, kapacitet prilagodbe i ranjivost.

Najveći grad u povijesti doline je bila Naron nastala na temeljima Grčkog emporija 4. - 2. st. pr. Krista (Smoljan, 1970). Grad je imao luku, obalu i svu potrebnu vodnu infrastrukturu kao moderni gradovi. Naron je napuštena oko 600. godine i nikad se nije obnovila. S početkom srednjovjekovnog povijesnog razdoblja događaju se značajne društvene promjene. To je razdoblje hrvatskih vladara, dinastije Arpadovića i Anžuvina. Poljodjelstvo i gusarenje je bilo glavni izvor uzdržavanja, a močvarno podneblje nije prikladno za življenje pa se veća naselja nisu formirala. Plovidba uzvodno od Opuzena je nesigurna jer je rijeka meandrirala i često mijenjala dubinu i smjer, Slika 4b. Cijela regija je bila zaostala za razliku od Dubrovnika i drugih obalnih gradova u Dalmaciji. Potom dolaze na vlast Mlečani, zatim prva Austrijska uprava, te iza njih Francuzi. Ništa se nije promijenilo u društveno - hidrološkom sustavu i društvenom razvoju. Poplave su česte, a rijetki čvrsti tereni uz rijeku i po rubu udoline su jedino sigurno i povoljno mjesto za življenje.



Slika 4. Povijesni slijed razvoj doline i delte (dopunjeno prema Deković i drugi, 2015)

Utvrđeni Opuzen je bio općinsko središte i luka. Od 1813. do 1918. dolina pripada drugoj Austrijskoj upravi. To je razdoblje rasta i razvoja te značajnih hidrotehničkih radova. Riječna dolina na području Metkovića se stabilizirala kao i korito, a močvarni tereni su i dalje dominirali u delti, Slika 4c, 4d. Klima je bila povoljna, a financijskog kapitala dovoljno, tako da se gradi željeznica (1855.), luka, a rijeka se regulira (1881. - 1887.), Slika 4d (Jurić, 2000). Gradi se most preko Neretve 1895. godine pa se grad širi na desnu obalu. To je vrijeme velikih projekata uređenja voda. Ojačana sigurnost od voda dovodi do urbanizacije doline. Najveći problem je i dalje bilo neuređeno zemljište, pa je melioracija zemljišta postala glavna politička tema. Nakon raspada Austro - Ugarske područje pripada kraljevini Srba, Hrvata i Slovenaca, odnosno od 1929. Kraljevini Jugoslavije, a poslije 1945. novoj Jugoslaviji. Nakon 1945. godine urbanizacija se širi po najvrjednijem poljoprivrednom zemljištu sigurnom od poplava. Time se sustavno smanjuje vrijedni prirodni kapital doline i ekonomska osnova održivog razvoja. Trgovina i luka nisu bili duga vijeka jer ih je zamijenila luka u Pločama i jadranska magistrala. Luka u Metkoviću je izgubila svoju funkciju jer se nije širila za prihvat većih brodova. Za političare je povoljnije bilo graditi luku u Pločama. Godine 1955. provedena je nacionalizacija zemljišta, a od 1963. (FAO Projekt) počeli su se izvoditi veći melioracijski radovi. Nakon domovinskog rata gase se državna poduzeća, smanjuju ekonomske aktivnosti te se provodi reprivatizacija nacionaliziranog zemljišta. Zemljište se usitnjava pa se sve ponovo vraća na staro stanje u kojem rascjepkano poljoprivredno zemljište ugroženo od voda i mora, nije dovoljna osnova za razvoj.

3. IZAZOVI I KLIMATSKI NEIZVJESNA BUDUĆNOST

U povijesnom slijedu promjena prijetnje društveno-ekonomskom sustavu su ostale iste: poplave, erozija obala, prodiranje mora u kopno. Od 1850. godine se postepeno javlja onečišćenje, porast temperature mora i voda, smanjenje biološke raznolikosti, prenamjena zemljišta, itd. Do 1850. prirodni procesi su mijenjali riječni sustav, a čovjek se prilagođavao ne mijenjajući ga. Osjetljivost i kapacitet prilagodbe prirodnog sustava u odnosu na klimu su ostali isti. Od 1850. godine čovjek mijenja prirodne procese da bi ojačao održivost, čime stvara efekte koji ga sve više ugrožavaju. Osjetljivost sustava se povećava, autonomni kapacitet prilagodbe smanjuje, a ranjivost stalno raste. Zato se stalno provode nove mjere jačanja otpornosti. To će se nastaviti s promjenom klime i rastom razine mora. Prognozirane su više temperature, smanjenje godišnjih oborina, rast razine mora te češće i jače oluje (NN, 2020). Do 2040. promjene će biti male, a potom sve značajnije. Za donji tok Neretve najveća prijetnja je rast razine mora. Za područje Italije je do 2100. predviđen rast od 0,5 - 1,4 m (Lambecka i drugi, 2011). Slično se očekuje i u Hrvatskoj. Rast razine mora stvara i rast podzemnih i površinskih voda i time smanjenje energije vodotoka, pa poplavna prijetnja raste uzvodno na cijelom području doline. Erozija obala će rasti jer na obali nedostaje biocenoza, koja štiti obalu i hvata sediment.

Sadašnje mjere zaštite nisu dovoljne jer nisu predvidjele buduće promjene, a dugoročno su ugroženi tereni niži od 2 m n.m.. To potvrđuju zaključci Plana upravljanja vodama 2022. - 2027. i Plan upravljanja rizicima od poplava. Karta opasnosti od poplava svrstava deltu u kategoriju „vrlo velike vjerojatnosti“, karta rizika od poplava u „vrlo visoki preliminarni rizik“, dok je „procjena potencijalnih poplavnih šteta velika“. Utjecaj klimatskih promjena deltu svrstava u kategoriju značajnog povećanja rizika. Rastom razine mora današnja *delta* bi mogla postati *rijas*, to jest potopljeno ušće. Rast razine mora je stalna prijetnja koja će trajati stotinama godina (do novog ledenog doba), dok je promjena klime i hidroloških procesa brza promjena koja će povremeno značajno ugrožavati zdravlje ljudi i društveno - ekonomski sustav (stohastički karakter prijetnji).

Ne postoji brzi odgovor na stalnu prijetnju i ekstremna stanja. Potrebne su *stalne sustavne mjere u cijelom prirodnom i društveno - ekonomskom sustavu doline*, a prije svega dobro ustrojena lokalna organizacija upravljanja procesima zaštite i jačanja otpornosti. Standardne mjere koje uključuje prirodne (meke - zelene) i umjetne (tvrde - nasipi) strukture, hranjenje obala, sustave predviđanja i upozorenja, zaštitu infrastrukture / fizičkih kapitala od poplava, ograničavanje nove gradnje u visokorizičnim područjima i postepeno povlačenje iz visokorizičnih područja, trebat će prilagoditi specifičnim izazovima u donjem toku Neretve. Ranjivost nije nastala slučajno, niti će nestati brzo. Ljudske intervencije u prostor i riječni sustav su povećale entropiju riječnog sustava i stvorile problem, a ne prirodni procesi. Zato je jedino održivo rješenje zaustaviti daljnje intervencije u prirodni sustav, a napravljene ispraviti, akumulacijske procese oživjeti, a teško branjive urbane zone napustiti. Zadatak složen, težak, ali neizbježan. Svaka izmjena prirodnih procesa košta, stvara rizik, smanjuje održivost i konkurentnost te standard življenja, a na kraju može dovesti do iseljavanja iz ugroženih zona. Priroda se ne može nadjačati, a ima dovoljno vremena da ostvari potrebnu ravnotežu u riječnom sustavu u skladu s raspoloživom gravitacijskom potencijalnom energijom koju mijenjaju klima i promjena razine mora. Planske mjere adaptacije se ne mogu trajno suprotstaviti silama okoliša, jer su ograničenog vremena trajanja. Zato problem treba rješavati tako da se smanjuje

izloženost silama vode izazvanih promjenama klime i prirodnih procesa. Dvije su generalne strategije na raspolaganju: A) Oživiti funkciju delte te izbjeći sukob s prirodnim procesima kroz izmjene i napuštanje sadašnjeg korištenja prostora i voda; B) Jačati otpornost na promjene i prilagoditi se promjenama u određenom prostoru i razdoblju vremena mjerama adaptacije. To znači suprotstaviti se promjenama gdje je obrana najlakša, a novostvorene resurse delte iskoristiti za novi razvoj, recimo turizam. Dobro izbalansiranom kombinacijom mjera A i B moguće je ojačati održivost, nadajući se da će rast razine mora usporiti. Treba definirati dugoročnu viziju razvoja donjeg toka Neretve te procijeniti koliko dugo možemo biti održivi na sadašnjem prostoru. U prošlosti su odluke bile racionalne pa su ljudi živjeli na sigurnom prostoru. Današnja situacija nalaže kompromis između ublažavanja prijetnji i troškova prilagodbe. Važno je da se vizija i mjere provode u cijelom slivu.

LITERATURA

- [1] Büntgen Ulf et al.: *2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility*. *Science*. 331, 2011, (6017): 578–582.
- [2] Deković J. (2015): *Interpretacija mjerenja na području Opuzen-ušće i Vidrice iz 2014. godine*, Diplomski rad, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 2015.
- [3] IPCC. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, doi:10.1017/9781009325844.
- [4] Jurić I. (2000): *Gospodarski razvoj luke i trgovišta Metković 1850.-1918. godine*, Matica hrvatska Ploče, Ploče, 2000., 1. – 140.
- [5] Lembecka K., Antonioli F., Anzidei M., Ferranti L., Leoni GODINE, Scicchitano GODINE, Silenzi S. (2011): *Sea level change along the Italian coast during the Holocene and projections for the future*, *Quaternary International* 232 (2011) 250e257
- [6] Lembecka K., Anzedeib M, Antoiolic F, Benidini A., Esposto A.(2004): *Sea level in Roman time in the Central Mediterranean and implications for recent change*, *Earth and Planetary Science Letters* 224 (2004) 563–575
- [7] Margeta J. (2000): *The Neretva River: integrated coastal area and river basin management*, chapter in the book J. Ganoulis et al. *Transboundary water resources in the Balkan*, Kulwer Academic Press, Netherlands, 2000, 55-65.
- [8] May A.: *Climate and Civilization for the past 4,000 years*, <https://andymaypetrophysicist.com/climate-and-civilization-for-the-past-4000-years/> Postavljeno 22.6. 2016.
- [9] McCormic M. et al. (2012): *Climate Change during and after the Roman Empire: Reconstructing the Past from Scientific and Historical Evidence*. *Journal of Interdisciplinary History*, 43 (2): 2012., 169–220. doi:10.1162/JINH_a_00379. S2CID 16489531.
- [10] Morhange C., et al. (2013): *Relative Sea-Level Changes During Roman Times in the Northwest Mediterranean: The 1st Century A.D. Fish Tank of Forum Julii, France*, *Geoarchaeology: An International Journal*, 28 (2013) 363–372.

-
- [11] Narodne Novine. NN 46/2020 (2020.): *Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu*, Zagreb, Hrvatska (15.4.2020.)
- [12] Porast razine mora, Wikipedia, https://hr.wikipedia.org/wiki/Porast_razine_mora (preuzimanje 10.05.2023)
- [13] Smoljan I. (1970): *Neretva*, nezavisno autorsko izdanje, Zagreb, 1970.
- [14] Vranješ M., Prskalo M., Džeba T. (2013): *Hidrologija i hidrogeologija sliva Neretve i Trebišnjice*, e-ZBORNIK, Broj 5 lipanj, 2013.
- [15] Climate Central, History of Sea Level, <https://sealevel.climatecentral.org/basics/history/> (preuzimanje 10.04.2023)

AUTOR

prof. dr. sc. Jure Margeta ^a

^a Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Matice Hrvatske 15, 21000 Split, Hrvatska, margeta@gratst.hr



R 1.07.

UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA U OBALNOM PODRUČJU I SUZBIJANJE POSLJEDICA - TALIJANSKO - HRVATSKA SURADNJA (INTERREG)

Julija Prpić, Damir Tomas, Stjepan Kamber

SAŽETAK: Klimatske promjene značajno utječu na integralno upravljanje vodama u području korištenja voda u širem smislu uključujući i identificiranje raspoloživosti resursa. Time se nameće potreba za strožim okvirom održivog upravljanja vodama uz interdisciplinarni pristup u suzbijanju štetnih posljedica. Globalno zatopljenje, ekstremne vremenske prilike (suše i poplave), nedostatak oborina (snijega), podizanje razine mora, ali i prekomjerno iskorištavanje podzemnih voda faktori su koji utječu na usporavanje obnavljanja podzemnih voda što u obalnim područjima rezultira rastućim trendom prodora morske vode u slatkovodne sustave i sve veću zahvaćenost tla zaslanjenjem.

Međunarodnom suradnjom Interreg Italija - Hrvatska započeti su procesi u nastojanju očuvanja strateških resursa slatke vode u obalnom području, a kroz zajedničke projekte ulaže se u razvijanje svijesti o problematici te razvoj i implementaciju strategija u suzbijanju kontaminacije slanom vodom.

KLJUČNE RIJEČI: Zaslanjenje, Prodor morske vode, Delta Neretve, MoST, SeCure

CLIMATE CHANGE IMPACT IN THE COASTAL ZONE AND A PREVENTION OF ITS CONSEQUENCES - ITALY - CROATIA COOPERATION (INTERREG)

ABSTRACT: Climate change has a significant impact on integrated water management, particularly in relation to water use, including, in a broader sense, the identification of resource availability as well. This imposes a need for a stricter framework of sustainable water management and an interdisciplinary approach to the prevention of harmful consequences. Global warming, extreme weather conditions (droughts and floods), lack of precipitation (snow), sea level rise, but also excessive groundwater exploitation are all factors that influence a slowing down of groundwater recovery, which results in a growing trend of saltwater intrusion into freshwater systems and increased soil salinization in the coastal areas.

The international cooperation Interreg Italy - Croatia initiated the processes aimed at preserving strategic freshwater resources in the coastal zone. Through joint projects, investments are made into raising awareness about these issues, as well as into the development and implementation of strategies preventing contamination with saltwater.

KEYWORDS: Salinization, Saltwater intrusion, Neretva Delta, MoST, SeCure

1. UVOD

Zaslanjenje voda i tla prepoznajemo kao prirodnu pojavu pri kojoj slana voda iz mora i laguna, plovnim putevima i podzemljem, prodire u tlo i vodonosnike uzrokujući nepovratnu štetu poljoprivrednim aktivnostima te obalnim resursima pitke vode.

Ovaj fenomen nepovoljno utječe na okoliš, ljudsko zdravlje i gospodarstvo. Nastaje kao posljedica kombinacije čimbenika klimatskih promjena (porast razine mora, ekstremni vremenski uvjeti poput dugotrajne suše ili ekstremne količine oborina, slijeganje tla i slično) te antropogenog djelovanja (poput eksploatacije podzemnih voda), a slana voda može prodrijeti i na desetke kilometara u unutrašnjost.

Brzorastući utjecaj klimatskih promjena na zaslanjenje (poljoprivrednog) tla privukao je pozornost znanstvenika diljem svijeta te se provode mnoga istraživanja koja za cilj imaju ukazati na njihov značajan utjecaj na tempo razvoja zaslanjenosti tla. Među najizraženijim su porast koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi i posljedično povećanje temperature zraka te pad relativne vlažnosti zajedno s ekstremnim oborinama. (Mukhopadhyay R. i sur. 2021.). Mnoge studije bavile su se aspektima i odnosom između klimatskih promjena i zaslanjenja tla, osobito poljoprivrednih površina a predikcije utjecaja klimatskih promjena na zaslanjenje tla uglavnom su fokusirane na predviđanje procesa sekundarnog zaslanjenja isprovociranog neodrživim praksama navodnjavanja ili podizanja razine mora.

Procjenjuje se da bi oko 600 milijuna ljudi koji žive u obalnim područjima diljem svijeta moglo biti pogođeno posljedicama zaslanjenja poljoprivrednog tla, štoviše, oko 40 milijuna ljudi bilo bi u opasnosti od pothranjenosti ako se trenutni tempo klimatskih promjena nastavi. Stoga će klimatske promjene vjerojatno postati jedna od primarnih prepreka održivoj poljoprivredi i globalnoj sigurnosti hrane (Mukhopadhyay R. i sur. 2021.).

Područja duž talijanske i hrvatske obale pod utjecajem su ovog fenomena čije su posljedice vidljive prvenstveno u dostupnosti pitke vode, ali i promjenama u poljoprivrednoj produktivnosti.

2. SURADNJA ITALIJE I HRVATSKE, RAZMJENA IDEJA, ISKUSTAVA I ZNANJA

Prepoznavši težinu ovog globalnog izazova i potrebu za učinkovitim suzbijanjem zaslanjenosti vodonosnika i tala te smanjenjem posljedica, Italija i Hrvatska, Programom prekogranične suradnje Italija - Hrvatska (CBC) 2014. - 2020. (Prioritetne osi: Sigurnost i otpornost) kroz Europski fond za regionalni razvoj, provele su niz projekata u nastojanju poboljšanja kapaciteta za očuvanje strateških resursa slatke vode u obalnim područjima, kao i u smanjenju ranjivosti na kontaminaciju slanom vodom.

Program prekogranične suradnje Italija - Hrvatska financijski je instrument koji podupire

suradnju dviju europskih država članica s 236,8 milijuna eura ukupnog proračuna. Program omogućuje regionalnim i lokalnim dionicima razmjenu znanja i iskustava, razvoj i implementaciju alata te podršku budućim investicijama s krajnjim ciljem poboljšanja kvalitete i uvjeta života za više od 12,4 milijuna građana koji žive u obalnom području Jadranskog mora.

U provedbi Projekata, koji za cilj imaju karakterizaciju procesa prodora slane vode pod utjecajem klimatskih promjena te identificirati i implementirati odgovarajuće protumjere, odabrana su dva pilot područja, u Italiji obalno područje Venecijanske lagune (donji tok rijeke Po) u blizini grada Chioggia, a u Hrvatskoj delta rijeke Neretve (nizvodno od Opuzena).

Primarni cilj je istraživanje utjecaja porasta razine mora na prodor slane vode u obalne vodonosnike u pedološkom sloju, s prijedlozima preventivnih mjera za smanjenje negativnog utjecaja zaslanjenja. U tu svrhu prikupljeni su geomorfološki, stratigrafski, hidrogeološki i poljoprivredni podaci kako bi se karakterizirao sustav vodonosnika na obje lokacije te procijenili učinci prodora morske vode na poljoprivrednu produktivnost. Prodiranje slane vode praćeno je i analizirano putem sustava za praćenje koji pružaju kvalitativne i kvantitativne informacije o procesima koji utječu na dinamiku podzemnih i površinskih voda unutar dva obalna sustava. Razvijeni su laboratorijski fizikalni modeli kao mjerila za numeričke modele koji se koriste za simulaciju rezultata na terenu. Numeričko modeliranje pouzdano implementira granične i početne uvjete definirane *in situ* na obje lokacije, simulira postojeća stanja, specificira različite scenarije i predviđa dinamičke promjene u obimu zaslanjenja uzrokovanog klimatskim promjenama (Cosma, M. i sur. 2023.).

Korištenjem prikupljenih podataka omogućena je izrada matematičkih i fizikalnih modela za bolje razumijevanje pojave zaslanjenja i osmišljavanje mjera koje doprinose ublažavanju kako samog fenomena tako i posljedica.

Do sada su uspješno provedeni Interreg projekti *Adaptation to Saltwater Intrusion in Sea Level Rise Scenarios* - ASTERIS (Prilagodba prodora slane vode u scenarijima podizanja razine mora), *Monitoring Sea - water intrusion in coastal aquifers and testin pilot projects for its mitigation* - MoST (Monitoring prodora slane vode u obalne vodonosnike i testiranje pilot projekata za prevenciju prodora soli) i *Saltwater intrusion and climate change: monitoring, countermeasures and informed governance* - SeCure (Prodor slane vode i klimatske promjene: praćenje, protumjere i informirano upravljanje). Oni predstavljaju važne inicijative usmjerene na suočavanje s izazovima klimatskih promjena i zaslanjenja prirodnih voda.

3. PROJEKTI MoST i SeCure

Područje istraživanja u Hrvatskoj je delta rijeke Neretve s obzirom da je vodonosni sustav rijeke Neretve, nekada močvarno područje, izgradnjom melioracijskih kanala, nasipa i crpnih stanica, kultivirano u najveće poljoprivredno područje u obalnom području Hrvatske, a Neretva je primarni izvor slatke vode tijekom sušne sezone. (Lovrinović I. i sur. 2023.).

Radi blizine mora, brojnih antropogenih utjecaja u regiji te klimatskih promjena, podzemne i površinske vode u području istraživanja trenutno su pod značajnim utjecajem

procesa zaslanjena.

U okviru projekta MoSt provedena su bušenja istražnih bušotina s izuzimanjem jezgre, kreiran je jednodimenzionalni model tečenja kojim je obuhvaćeno 5 slojeva tla te su provedena geofizička istraživanja, mjerenja parametara podzemnih i površinskih voda. Omogućena je simulacija gibanja voda te stvarnog stanja prodora slane vode što je omogućilo praćenje trenda zaslanjenosti rijeke Neretve kroz hidrološku godinu. Navedeno je rezultiralo boljim razumijevanjem fenomena zaslanjenosti kao i iskorak prema iznalaženju rješenja u smanjenju prodora slane vode u vodonosnike.

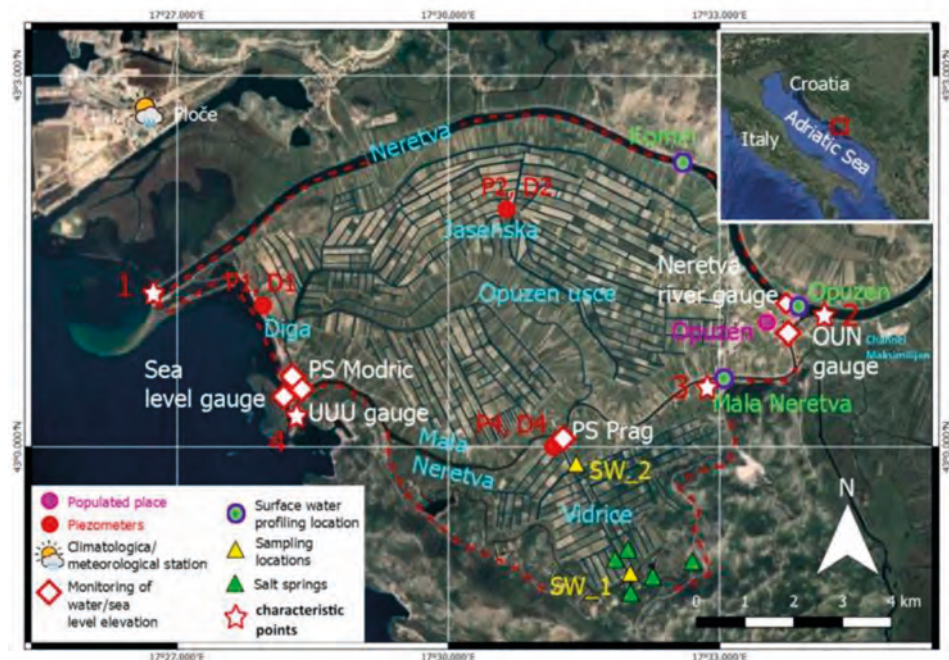


Slika 1: Nasip Diga

Nasip Diga (slika 1) smatra se granicom između Jadranskog mora i kopna na zapadu a područje Diga određeno je kao glavni koridor za dotok morske vode u obalni vodonosni sustav. Područje Opuzenskog ušća, za svrhu istraživanja, podijeljeno je na dva specifična potpodručja; Jasensku i Crepinu dok se treće područje od interesa, područje Vidrice, promatra kao odvojeni melioracijski podsustav, južno od rijeke Male Neretve. Očuvanje ovog područja znači dugoročnu održivost populacije koja živi u dolini, što dodatno naglašava potrebu za praćenjem i razumijevanjem ovdje prisutnog fenomena zaslanjenja. (Lovrinović I. i sur. 2023.).

U donjoj dolini Neretve postavljen je monitoring sustav za praćenje parametara intruzije morske vode u piezometrima (slika 2). Ovi parametri uključuju razinu podzemne vode, električnu vodljivost i temperaturu. Prikupljaju se uzorci podzemne i površinske vode u kojima se, u laboratorijskim uvjetima, određuju koncentracije glavnih iona (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- i SO_4^{2-}) (Lovrinović I. i sur. 2023.). Analizom glavnih iona utvrđeno je da je prodor morske vode primarni izvor zaslanjenja.

U svrhu identificiranja procesa koji imaju utjecaj na prodor morske vode, zasebno su analizirane tri lokacije: P1 - piezometar na području Diga; P2 - piezometar koji se nalazi na području Jasenske koji je dio lijevog priobalja rijeke Neretve i P4 - piezometar za melioracijski podsustav Vidrice. Svi piezometri izbušeni su 10 m ispod razine tla u promjeru 12 centimetara. Svaka lokacija piezometra predstavlja različitu mikrolokaciju duž područja istraživanja koji predstavljaju specifične lokalne uvjete i dominantna opterećenja koja utječu na podzemnu vodu.



Slika 2: Područje istraživanja s definiranjem lokacija motrenja, melioracijskog sustava, meteorološke postaje, mjerača i lokacija profiliranja (preuzeto: Lovrinović I. i sur. 2023.)

Tijekom sušnog razdoblja režim podzemnih voda uglavnom je pod utjecajem prodora morske vode izravno iz mora i korita rijeke Neretve. Kišna razdoblja karakterizira povećanje protoka Neretve čime se morska voda eliminira iz riječnog korita. Ovaj scenarij rezultira poboljšanom kvalitetom podzemne vode. Dok se područje Diga koje je najbliže moru, suočava s aktivnim prodorom morske vode, vodonosnik Jasenske se tijekom sušne sezone napaja morskom vodom iz rijeke Neretve. Vidrice su jedino područje gdje kvaliteta podzemne vode opada tijekom kišne sezone zbog prisutnosti zaslanjenih izvora i činjenice da se područje nalazi ispod srednje razine mora. (Lovrinović I. i sur. 2023.).

Temeljem istražnih radova, izrade granulometrijskih analiza, prikupljenih podataka te monitoringa stanja površinskih i podzemnih voda, uspostavljeni su numerički model i georeferencirane baze podataka GeNera uz kreiranje lito - stratigrafske definicije sustava obalnog vodonosnika rijeke Neretve. Razvijeni model korišten je u određivanju mit-

igacijskih mjera kao i u planiranju i unaprjeđivanju monitoring sustava. Sve navedeno omogućilo je ispitivanje učinkovitosti i primjenjivosti mitigacijskih mjera u specifičnom području te dovelo do novih spoznaja. Kao učinkovitima su se pokazale nepropusna podzemna barijera ispod nasipa Diga, barijera na Neretvi kod mjesta Komin i uz kanal paralelan s Neretvom (slika 3).



Slika 3: Oznake barijera na rijeci Neretvi (preuzeto: Lovrinović I. i sur. 2023.)

Projekt SeCure, kao nastavak projekta MoST, za cilj je imao informiranje i educiranje zainteresirane javnosti o novim učinkovitim pristupima u minimiziranju negativnih posljedica kontaminacije poljoprivrednih površina slanom vodom te podizanje svijesti o problematici zaslanjenja uopće. Osobito se to odnosi na nadogradnju smjernica sa šire točke gledišta čineći ih primjenjivim na područje čitavog jadranskog bazena s fokusom na obalna poljoprivredna područja. Projektom SeCure omogućena je razmjena znanja i iskustava temeljem predstavljanja rezultata i zaključaka iz prethodnih projekata stručnoj i znanstvenoj javnosti.

U svrhu prijenosa znanja o negativnom utjecaju slane vode na okoliš te jačanja suradnje znanosti i struke za što učinkovitije upravljanje vodnim resursima i prilagodbu na posljedice neizbježnih klimatskih promjena, održana su dva skupa; znanstveni skup u organizaciji Javne ustanove za upravljanje zaštićenim dijelovima prirode Dubrovačko - neretvanske županije u Metkoviću „*Delta Neretve - klimatske promjene, trenutna postignuća i budući izazovi*“, te stručni skup u organizaciji Hrvatskih voda u Zagrebu „*Klimatske promjene i fenomen zaslanjenja vode i tla*“. Oba skupa okupila su brojne stručnjake i znanstvenike iz područja vodnog gospodarstva i poljoprivrede.

U svrhu podizanja svijesti kod djece i mladih te educiranja o problemima i izazovima uslijed klimatskih promjena izrađena je edukativna slikovnica „*Hrvoje i prijatelji poručuju: Klimatske promjene i čovjeka uključuju!*“ koja je prezentirana kroz predavanja i radionice

u osnovnim i srednjim školama na području Dubrovačko - neretvanske županije u okviru promocije i studijskog obilaska lokacija pilot projekta SeCure na Neretvi.



Slika 4: Studijski obilazak mjerne postaje na području Diga

ZAKLJUČAK

S obzirom da je cjeloviti pristup u suzbijanju prodora slane morske vode u slatkovodne sustave, te tako i smanjenje posljedica na poljoprivredne aktivnosti u obalnim područjima kao i očuvanju resursa pitke vode, tek u povojima, međunarodna suradnja koja podržava razmjenu znanja i najboljih praksi nužna je za konkretna djelovanja te strateški pristup osmišljavanju i realizaciji protumjera usmjerenih ka suzbijanju posljedica klimatskih promjena.

Ciljevi ostvareni kroz navedene projekte predstavljaju smjernice za specifičnu problematiku primjenjivu na lokalnoj razini ali i temelj daljnjem istraživanju i iznalaženju rješenja primjenjivih na područje čitavog jadranskog bazena. Promoviranje strategije za ublažavanje negativnih učinaka zaslanjenja, razmjena znanja i iskustava, predstavljanje rezultata i zaključaka stručnoj i znanstvenoj javnosti od velike su važnosti za rasvjetljavanje ekološke i ekonomske implikacije tih strategija te određivanje budućih smjerova istraživanja.

Rezultati istraživačkih aktivnosti uključuju razvoj specifičnih alata za upravljanje aktivnostima povezanim s poljoprivredom i slatkovodnim resursima u obalnim područjima. To podrazumijeva i procjenu ranjivosti, planove ublažavanja i protumjere protiv kontaminacije solju. Ovi su rezultati dobiveni integracijom rezultata dobivenih na oba lokaliteta, uzimajući u obzir različitosti i osobitosti pojedinih područja koja su reprezentativna za mnoge nizinske ravnice smještene s obje strane jadranske obale (Cosma M. i sur. 2023.).

Utjecaj klimatskih promjena na zaslanjenje prirodnih voda zahtijeva sveobuhvatne mjere kako bi se ublažile negativne posljedice. Projekti poput ASTERIS-a, MoST-a i SeCure-a, koji su dio Interreg programa, predstavljaju važan iskorak prema rješavanju ovog problema kroz istraživanje, inovaciju i suradnju. Važno je nastaviti ulagati u takve projekte kako bismo sačuvali prirodne vode i osigurali održivu budućnost za sve.

LITERATURA

- [1] Cosma, M., Zancanaro, E., Aljinović, I., Morari, F., Srzić, V., Teatini, P., Tosi, L., Bergamasco, A., Botto, A., Camporese, M., Cavallina, C., Da Lio, C., Donnici, S., Lovrinović, I., Racetin, I., Zaggia, L., Zoccarato, C., and Salandin, P. 2023. Approaches and methodologies to monitor and mitigate saltwater intrusion in the Adriatic coastal plains, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-12125, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-12125> (Pristupljeno 10.10.2023.)
- [2] Lovrinovic, I., Aljinovic, I., Srzic, V. 2023. Evaluation of surface and groundwater quality and identification of saltwater sources by hydrogeochemical analysis in river Neretva coastal aquifer system, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-11976, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-11976> (Pristupljeno 10.10.2023.)
- [3] Lovrinovic, I., Aljinovic, I., Srzic, V. 2023. Characterization of seawater intrusion dynamics under the influence of hydro - meteorological conditions, tidal oscillations and melioration system operative regimes to groundwater in Neretva valley coastal aquifer system. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 46. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101363> (Pristupljeno 08.10.2023.)
- [4] Mukhopadhyay R., Sarkar B. , Sahay Jat H., Parbodh, Sharma P.C., Bolan N.S., 2021. Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. *Journal of Environmental Management*. 280, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111736> (Pristupljeno 06.10.2023.)

AUTORI

Julija Prpić, mag.rel., bacc. ing. techn. graph. ^a

dr. sc. Damir Tomas ^a

Stjepan Kamber, mag. ing. aedif. ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska, julija.prpic@voda.hr, damir.tomas@voda.hr, stjepan.kamber@voda.hr



R 1.08.

REZULTATI HIDROLOŠKIH MJERENJA I STANJE KVALITETE VODA MALIH VODNIH RESURSA

Ivana Sušanj Čule, Goran Volf, Nevenka Ožanić, Barbara Karleuša

SAŽETAK: U sklopu rada su prikazani preliminarni rezultati hidrološkog istraživanja te ocjene stanja kvaliteta voda na malim prirodnim vodnim resursima u urbanim sredinama koja se provode u cilju razvoja metodologije ocjene stanja i smjernica za zaštitu i revitalizaciju istih. Naime, mali prirodno formirani vodni resursi u obliku lokvi i jezera smješteni u urbanim zonama ili njihovoj blizini, na lokalnoj razini imaju značaj za stanovništvo u krajobraznom, povijesnom i ekološkom smislu te ponekad predstavljaju male prirodne oaze s razvijenom specifičnom biocenozom. Sama površina vodnih resursa je u vlasništvu Hrvatskih voda dok je upravljanje nad slivnim područjem u jurisdikciji lokalne samouprave. Uobičajeno zbog svoje veličine nisu prepoznati kao vrijedna prirodna područja te stoga nisu pod zaštitom ekološke mreže Nature 2000 niti su u sklopu urbanističkih planova uređenja prepoznati kao krajobrazna i prirodna vrijednost. Spomenuti vodni resursi se prihranjuju većinom površinskim i podpovršinskim putem sa slivnog područja što značajno utječe na njihovo stanje, a često je i sama vodna površina pod direktnim utjecajem ljudskih aktivnosti. Važno je stoga definirati značaj i stanje promatranih vodnih resursa kako bi se mogle definirati osnovne smjernice ka boljem upravljanju na slivnom području i samoj površini vodnog resursa, a sve u cilju njihove zaštite.

KLJUČNE RIJEČI: Lokva, Vodni resursi, Urbana sredina, Zaštita, Revitalizacija

HYDROMETRIC RESULTS AND WATER QUALITY ASSESSMENT OF SMALL NATURAL WATER RESOURCES

ABSTRACT: The paper presents preliminary results of hydrological investigations and assessments of water quality of small natural water resources in urban areas carried out to develop the water status assessment methodology and guidelines for their protection and revitalisation. Small naturally formed water resources in the form of ponds and lakes located in or near urban areas have a significance for the population at the local level in terms of landscape, history and ecology, and sometimes represent small natural oases with a developed specific biocoenosis. The surface of these water resources is under the jurisdiction of Croatian Waters, while the management of their catchment areas is the responsibility of local self-government. Due to their size, they are usually neither recognised as valuable nature areas (and thus not protected as part of the ecological network

Natura 2000), nor are they recognised as landscape and nature value in urban development plans. The aforementioned water resources are mostly recharged by surface waters and groundwater in the basin area, which significantly affects their condition, and their water surface is often under the direct influence of human activities. It is, therefore, important to define the significance and status of these water resources in order to establish basic guidelines for a better management of the basin area, as well as the surface of these water resources to ensure their protection.

KEYWORDS: Pond, Water resources, Urban area, Protection, Revitalisation

1. UVOD

Republika Hrvatska bogata je prirodnim ljepotama, a posebno u području vodnih resursa. Vodni resursi u urbanim i prirodnim okruženjima su pod jurisdikcijom Hrvatskih voda te su zavedeni u Registru vodnih tijela. Kao takvi mogu biti okarakterizirani kao zaštićena, ranjiva ili vrijedna prirodna područja, a prema čemu lokalna samouprava planira urbani razvoj određenog područja uzimajući u obzir moguća ograničenja. Spomenuta ograničenja vrijede većinom za područja vodnih resursa koja su uvrštena na popis ekološke mreže Natura 2000 ili zbog zaštite samog resursa odnosno zbog zaštite od štetnog djelovanja vode. No veliki je broj malih prirodnih vodnih resursa, kao što su primjerice lokve ili mala jezera, koji se nalaze u urbanim područjima ili u njihovoj blizini a nisu prepoznati sa strane lokalnih samouprava kao vrijedni niti postoji mehanizam za njihovu zaštitu. Na lokalnoj razini takvi lokaliteti imaju svoj značaj za stanovništvo u krajobraznom, povijesnom i ekološkom smislu te ponekad predstavljaju male prirodne oaze s razvijenom specifičnom biocenozom.

Uobičajeno takvi vodni resursi ne predstavljaju opasnost u smislu štetnog djelovanja vode, no zbog svoje male veličine i velikog antropogenog utjecaja ostaju nezaštićeni u svakom pogledu. Samo vodno lice spomenutih resursa je pod zaštitom Hrvatskih voda, ali je slivno područje s kojih se prihranjuju u planskom upravljanju lokalnih samouprava, te je stoga opstanak istih u direktnoj opasnosti. Cilj istraživanja u opisanom području usmjeren je prema ocjeni stanja spomenutih nezaštićenih prirodnih vodnih resursa kako bi se postavili temelji za razvoj metodologije i smjernica ka zaštiti i mogućoj potrebnoj revitalizaciji istih. Bitno je podignuti svijest kako javnosti tako i lokalne samouprave ka očuvanju malih prirodnih vodnih resursa unutar urbanih područja ili u njihovoj blizini kroz unaprijeđeni proces urbanog planiranja.

2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Preliminarni rezultati istraživanja koji će biti prikazani unutar ovoga rada dio su projekta pod nazivom „*Development of the methodology for the condition evaluation, protection and revitalization on small urban water resources*” (ZIP-UNIRI-1500-2-22) u nastavku Projekt, a koji je započeo u travnju 2023. godine i trajati će dvije godine.

Cilj spomenutog Projekta je razvoj metodologije ocjene kvalitete, zaštite i revitalizacije malih vodnih resursa u urbanim sredinama, a koja će biti temelj za razvoj smjernica ka boljem upravljanju procesa urbanog planiranja slivnih područja spomenutih vodnih resursa. Sam projekt u svojoj prvoj fazi obuhvaća hidrometrijska istraživanja te ocjenu

kvalitete vode na odabranim lokalitetima, te će u nastavku ovoga rada biti prikazani rezultati istraživanja koja su do sada provedena.

2.1. Hidrološka analiza i mjerenja

Prije samog začetka spomenutog Projekta provedena su testna istraživanja tokom 2022. godine na lokalitetu Medulinske lokve (Medulin, Istarska Županija) gdje je određeno koje će se osnovne hidrološke analize i mjerenja provoditi u samom projektu (Sušanjan Čule i ostali, 2022). Osnovna hidrološka analiza koja će se na odabranim lokalitetima provoditi sastoji se od mjerenja batimetrije lokvi, trenutnog volumena vode, temperature vode i njezine stratifikacije po dubini, određivanja topografske granice sliva te njegove veličine. Analizom dostupnih podloga, kao što su geološke karte i hidrogeološke karte, orto snimci, pokrov sliva itd., definirati će se i način prihranjivanja vodnog resursa.

Mjerenje batimetrije provodi se upotrebom instrumenata: sonde CTD-diver (Van Essen Instruments B.V., Nizozemska) za mjerenje dubine te temperature i Topcon positioning system HiPer V za geodetska mjerenja. Sam proces mjerenja obavlja se pomicanjem geodetskog instrumenta na površini mjernog lokaliteta uz pomoć plovila te postavljanjem sonde za mjerenja dubine na tu poziciju. Prilikom toga dobivaju se trodimenzionalne koordinate dna, odnosno batimetrija. Topografska granica sliva definira se ucrtavanjem na topografskoj podlozi.

2.2. Mjerenja kvalitete vode

Mjerenje kvalitete vode provodi se uzimanjem više uzoraka vode na samom lokalitetu te potom laboratorijskim ispitivanjem u Hidrotehničkom laboratoriju Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci. Za potrebe ispitivanja kvalitete vode pripremaju se uzorci koji se ispituju na spektrofotometru Hach DR 3900, pH mjeračem i digitalnim mjeračem elektroprovodljivosti GMH 3430 Greisinger electronic. Spomenutim instrumentom mjere se fizičke i kemijske osobine vode u cilju utvrđivanja kvalitete vode i ocjene njezinog ekološkog potencijala.

Laboratorijskom analizom se ispituju sljedeće karakteristike uzorka vode: Koncentracija vodikovih iona (pH), Ukupne otopljene tvari (TDS) [ppm], Elektroprovodljivost [$\mu\text{S}/\text{cm}$], Nitrati [mg/L; $\text{NO}_3^- - \text{N}$], Amonijak [mg/L; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$], Kloridi [mg/L; Cl^-], Nitriti [mg/L; $\text{NO}_2^- - \text{N}$], Ukupni dušik [mg/L; TNb], Ortofosfati [mg/L; $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$], Ukupni fosfor TP [mg/L; $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$] i Kemijska potrošnja kisika (KPKcr) [mg/L; O_2] mjerena bikromatskom metodom.

Ocjena ekološkog stanja analizirane vode određuje se prema Uredbi o standardu kakvoće voda (Narodne novine, broj 96/19) i Uredbi o izmjenama i dopunama uredbe o standardu kakvoće voda (Narodne novine, broj 20/23) donesenim od strane Vlade Republike Hrvatske.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Od početka rada na spomenutom projektu s istraživanjem se započelo na četiri male prirodno formirane lokve koje su zabilježene u Registru vodnih resursa Hrvatskih voda te će u sklopu ovoga rada biti prikazani preliminarni rezultati istraživanja. Uvjet za odabir

određenog vodnog resursa je da se radi o lokalitetu koji je zaveden u Registru vodnih tijela sa strane Hrvatskih voda, da se radi o resursu koji je stalan odnosno ne presušuje te da ima razvijenu biocenozu unutar toga biotopa. U daljnjem provođenju projekta očekuje se uvrstiti još minimalno 6 lokaliteta na području Primorsko - goranske i Istarske županije na kojima će se provoditi četiri godišnje analize kvalitete vode i hidrološko mjerenje. U nastavku će kratko biti opisane lokacije odabranih malih lokvi u ili u blizini urbanih zona na kojima su provedena prva istraživanja te njihove osnovne hidrološke značajke kao i rezultati analize kvalitete vode. Rezultati analize daju uvid u ekološki potencijal lokacija te njihovu stabilnost ekosustava.

3.1. Lokacija i hidrološke karakteristike odabranih lokaliteta

Kao što je i ranije spomenuto za potrebe istraživanja za sada su obrađena četiri lokaliteta, a oni su redom: (i) Medulinska lokva (Općina Medulin, Istarska Županija), (ii) lokva Škunca stani (Novalja, otok Pag, Ličko - senjska županija), (iii) lokva Vrgnica (Dabovi stani, Novalja, otok Pag, Ličko - senjska županija) i (iv) lokva Vidasovi stani (Vidasovi stani, Novalja, otok Pag, Ličko - senjska županija). Na Slici 1. prikazana je lokacija obrađenih lokvi zajedno s određenim topografskim slivom.



Slika 1. Lokacija obrađenih lokvi na topografskoj podlozi s topografskim granicama sliva: a) Medulinska lokva, b) Škunca stani, c) lokva Vrgnica i d) Vidasovi stani
(Podloga: <https://geoportal.dgu.hr/>)

Na svim do sada obrađenim lokvama utvrđen je razvijen ekosustav koji je u većem ili manjem obimu pod utjecajem antropogenog djelovanja. Na svim lokalitetima utvrđeno je postojanje ekosustava, a posebice na lokaciji Medulinske lokve. Iako je Medulinska lokva pod velikim antropogenim utjecajem sa strane lokalnog stanovništva postala dom raznim vrstama riba, kornjača i patki, održala je stabilan ekosustav, a koji postaje mje-

sto koje godišnje posjećuje veliki broj raznih divljih ptica koje ga koriste kao pojilište (<https://m.facebook.com/groups/4333729936653118/>). Uz to na lokaciji je primijećen i veliki broj raznovrsnih insekata i vodozemaca te vodeno bilje. Obradene lokacije na otoku Pagu također imaju razvijen ekosustav, te je na lokacijama zamijećen veliki broj insekata, vodozemaca i zmija te razvijena vodena flora. Lokacije služe kao pojilišta za divlje životinje i ptice te ovce lokalnih ovčara za koje su ove lokve od iznimne važnosti. Na lokalitetima na otoku Pagu može se utvrditi značajnije manji antropogeni utjecaj te prirodni razvoj ekosustava, dok se antropogeni utjecaj u obliku uređenja zaštitnih zidova izvršen sa strane Hrvatskih voda u svrhu održavanja na lokvama u Škunca stanimi i Vidasovim stanimi.

Prva hidrološka mjerenja na Medulinskoj lokvi provedena su tokom 2022. godine, a dok je tokom ove godine provedeno uzorkovanje vode 20. lipnja 2023. godine. Na otoku Pagu su hidrološka mjerenja provedena 13. lipnja 2023. godine. U nastavku su u Tablici 1. prikazani osnovni rezultati hidrološkog mjerenja i osobine sliva.

Tablica 1. Rezultati hidrološkog mjerenja i osnovne osobine sliva

Naziv lokve	Osobine vodnog resursa						Osobine sliva			
	Površina vodnog lica lokve*	Maksimalna dubina vode*	Volumen vode (procjena)*	Temperatura zraka*	Temperatura vode - površina*	Temperatura vode - dno*	Nadmorska visina jezera	Površina sliva	Najniža nadmorska visina sliva	Najviša nadmorska visina sliva
	Al [m ²]	D [m]	V [m ³]	Tz [°C]	Tv1 [°C]	Tv2 [°C]	Hmin [m.n.m.]	As [km ²]	Hmin [m.n.m.]	Hmax [m.n.m.]
Medulinska lokva	3237,8	1,57	2543,7	32	26	26	12,8	3,08	12,8	68
Škunca stani	286,1	2	227,9	31	24	20	60	0,03065	60	131,4
Vrgnica	465,37	1,81	412,31	28	24	21	30	0,01043	30	51
Vidasovi stani	1530,95	2,03	1205,2	29	25	23	48	0,05481	48	71,6

Napomena: *stanje na dan mjerenja

Prihranjivanje vodom analiziranih lokvi odvija se s obzirom na geološku tvorbu površinskim i podpovršinskim tečenjem, a prema do sada dostupnim informacijama sa strane lokalnog stanovništva lokve bilježe postepeno godišnje smanjenje razina voda no za sada bez presušivanja.

3.2. Rezultati analize uzoraka i vrednovanje ekološkog potencijala uzoraka vode

Prilikom provođenja osnovnih hidroloških mjerenja na lokvama, provedeno je uzorkovanje vode na pozicijama kao što je prikazano na Slici 2.



Slika 2. Prikaz lokacija uzorkovanja vode na lokvama: a) Medulinska lokva, b) lokva Škunca stani, c) lokva Vrgnica i d) lokva Vidasovi stani (Podloga: <https://geoportal.dgu.hr/>)

Analiza uzoraka vode provedena je u laboratoriju, a prikazana je u Tablici 2. i Tablici 3. U tablicama je vidljiva i ocjena ekološkog potencijala vode prema određenim granicama.

Tablica 2. Laboratorijska analiza uzoraka vode Medulinske lokve i lokve Škunca stani

Parametar kvalitete vode	Mjerna jedinica	Granice parametra*	Medulinska lokva				lokva Škunca stani			
			Uzorcji			Ocjena ekološkog potencijala*	Uzorcji			Ocjena ekološkog potencijala*
			1	2	Srednja vrijednost		1	2	Srednja vrijednost	
pH	[]	$7 < \text{pH} < 7,4$	7,2	7,1	7,15	dobro	7,4	7,2	7,3	dobro
Ukupne otopljene tvari (TDS)	[ppm]	$200 < \text{TDS} < 300$ (granična količina)	196	194	195	dobro	280	284	282	dobro
Elektroprovodljivost (C)	[$\mu\text{S/cm}$]	$C < 50000$ (slana voda)	355	359	357	slatka voda	518	523	520,5	slatka voda
Nitriti	$\text{NO}_2^- - \text{N} / [\text{mg/L}]$	$0,15 < \text{NO}_2^- - \text{N} < 0,35$	0,258	0,245	0,2515	dobro	0,335	0,332	0,3335	dobro
Amonijak	$\text{NH}_4^+ - \text{N} / [\text{mg/L}]$	$\text{NH}_4^+ - \text{N} < 1$	0,066	0,043	0,0545	dobro	0,448	0,497	0,4725	dobro
Kloridi	$\text{Cl}^- / [\text{mg/L}]$	$\text{Cl}^- < 0,005$	17,8	17,7	17,75	povećani	84,4	83,7	84,05	povećani
Nitriti	$\text{NO}_2^- - \text{N} / [\text{mg/L}]$	$\text{NO}_2^- - \text{N} < 0,03$	0	0	0	dobro	0	0	0	dobro
Ukupni dušik	$\text{TNb} / [\text{mg/L}]$	1,24	1,49	1,42	1,455	povećani	1,92	1,75	1,835	povećani
Ortofosfati	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P} / [\text{mg/L}]$	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P} < 0,1$	0,483	0,033	0,258	povećani	0	0,018	0,009	dobro
Ukupni fosfor (TP)	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P} / [\text{mg/L}]$	$0,018 < \text{TP} < 0,045$	0,052	0,109	0,0805	povećani	0,057	0,091	0,074	povećani
Kemijska potrošnja kisika (KPKcr)	$\text{O}_2 / [\text{mg/L}]$	$20 < \text{KPK} < 200$	43,3	43,3	43,3	dobro	33,5	28	30,75	dobro

Napomena: *prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/2019) i Uredbi o izmjenama i dopunama uredbi o standardu kakvoće voda (NN 20/2023)

Tablica 3. Laboratorijska analiza uzoraka vode Vrgnica i lokve Vidasovi stani

Parametar kvalitete vode	Mjerna jedinica	Granice parametra*	Vrgnica				lokva Vidasovi stani			
			Uzorcji			Ocjena ekološkog potencijala*	Uzorcji			Ocjena ekološkog potencijala*
			1	2	Srednja		1	2	Srednja	
pH	[]	$7 < \text{pH} < 7,4$	7,3	7,4	7,35	dobro	7,8	7,3	7,55	blago povećani
Ukupne otopljene tvari (TDS)	[ppm]	$200 < \text{TDS} < 300$ (granična količina)	303	296	299,5	dobro	158	167	162,5	dobro
Elektroprovodljivost (C)	[$\mu\text{S/cm}$]	$C < 50000$ (slana voda)	561	546	553,5	slatka voda	292	310	301	slatka voda
Nitriti	$\text{NO}_2^- - \text{N} / [\text{mg/L}]$	$0,15 < \text{NO}_2^- - \text{N} < 0,35$	0,23	0,29	0,26	dobro	0,403	0,226	0,3145	dobro
Amonijak	$\text{NH}_4^+ - \text{N} / [\text{mg/L}]$	$\text{NH}_4^+ - \text{N} < 1$	0,163	0,146	0,1545	dobro	0,091	0,012	0,0515	dobro
Kloridi	$\text{Cl}^- / [\text{mg/L}]$	$\text{Cl}^- < 0,005$	105	104	104,5	povećani	50	50,7	50,35	povećani
Nitriti	$\text{NO}_2^- - \text{N} / [\text{mg/L}]$	$\text{NO}_2^- - \text{N} < 0,03$	0	0	0	dobro	0	0	0	dobro
Ukupni dušik	$\text{TNb} / [\text{mg/L}]$	1,24	1,21	0,972	1,091	dobro	0,785	0,817	0,801	dobro
Ortofosfati	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P} / [\text{mg/L}]$	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P} < 0,1$	0	0	0	dobro	0,013	0	0,0065	dobro
Ukupni fosfor (TP)	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P} / [\text{mg/L}]$	$0,018 < \text{TP} < 0,045$	0,003	0,004	0,0035	dobro	0,029	0,018	0,0235	dobro
Kemijska potrošnja kisika (KPKcr)	$\text{O}_2 / [\text{mg/L}]$	$20 < \text{KPK} < 200$	27	22,6	24,8	dobro	28,4	46,7	37,55	dobro

Napomena: *prema Uredbi o standardu kakvoće vode (NN 96/2019) i Uredbi o izmjenama i dopunama uredbi o standardu kakvoće voda (NN 20/2023)

3. DISKUSIJA REZULTAT

Na odabranim lokalitetima provedena je osnovna hidrološka analiza s mjerenjem parametara kvalitete vode u ljetnom periodu. Na temelju do sada obrađenih podataka vidljivo je da se na prikazana četiri lokaliteta radi o malim plitkim stalnim lokvama na kojima je maksimalna dubina vode oko dva metra. Površina topografskih slivova je mala te pod antropogenim utjecajem zbog stalnog širenja urbane zone pa se mogu očekivati i značajnije promjene u vodnoj bilanci istih. Prihranjivanje lokvi odvija se površinskim i podpovršinskim putem bez vidljivih formiranih vodotoka, a prema do sada dostupnim informacijama sa strane lokalnog stanovništva lokve bilježe postepeno godišnje sma-

njenje razina voda no za sada bez presušivanja. Vodna lica na lokvama su također pod antropogenim utjecajem zbog blizine urbane zone dok je na Medulinskoj lokvi taj utjecaj značajniji. Na lokvama obrađenima na otoku Pagu zabilježena je temperaturna stratifikacija vode, dok na Medulinskoj lokvi temperaturne stratifikacije nema. Razlog tome može se pronaći u veličini i dubini formiranih lokvi, pa je tako u slučaju Medulinske lokve površina vodnog lica veća nego kod ostalih lokvi dok je sama dubina lokve mala. Zbog zagrijavanja kompletnog stupca vode u slučaju Medulinske lokve, može se očekivati negativan utjecaj povišene temperature u ljetnim mjesecima na ekosustav iste. Provedena analiza uzoraka vode ukazala je da se radi o vodi koja za sada nije onečišćena nitratima i nitritima, dok je na lokaciji Medulinske lokve zabilježena povećana razina ortofosfata koja uobičajeno dolazi od primjene umjetnih gnojiva. Razina amonijaka je zadovoljavajuća te ukazuje da nema značajnijih mikrobioloških aktivnosti. Kloridi u vodi su povećani na svim analiziranim lokacijama, no oni u ovom slučaju ne potječu od natrijevog klorida (*NaCl*) već su rezultat topljenja matične stijene na lokacijama. U ovom slučaju s obzirom da se radi o prirodnoj vodi, njihov utjecaj na ekološki potencijal nije značajan. Zbog navedene povećane koncentracije klorida, očekivano je veća elektroprovodljivost te razina TDS-a. Povećane ukupne razine dušika i fosfora na Medulinskoj lokvi te lokvi Škunca stani ukazuju na povećane razine hranjivih tvari koji mogu dovesti do eutrofikacije odnosno do promjena koje mogu imati negativne utjecaje na postojeće ekosustave, no s obzirom da je KPKr u prihvatljivim granicama to ukazuje da je razina organskih tvari trenutačno zadovoljavajuća (Chapman, 1992). Temeljem cjelokupne analize može se zaključiti da na svim lokalitetima postoji pozitivan ekološki potencijal. Na Medulinskoj lokvi zabilježeno je blago onečišćenje te povećana koncentracija hranjivih tvari u vodi zbog kojeg može doći do eutrofikacije vode. Na lokvi Škunca stani također je povećana razina hranjivih tvari no ne u zabrinjavajućim količinama, dok je na ostalim lokacijama stanje vode i više nego zadovoljavajuće te ukazuje na stabilan prirodni ekosustav.

ZAKLJUČAK

Ovim radom prikazani su preliminarni rezultati hidroloških mjerenja i ocjena stanja kvalitete voda na četiri male prirodno formirane lokve u urbanih sredina ili u njihovoj blizini. Naime, iako su spomenute lokve od značaja za lokalno stanovništvo na navedenima ne postoji nikakav mehanizam za njihovo očuvanje. Istraživanjem su za sada obuhvaćena Medulinska lokva u Istri te tri lokve na otoku Pagu. Analiza provedenog istraživanja je ukazala da se u sva četiri slučaja radi o malim plitkim prirodno formiranim lokvama koje se prihranjuju površinskim i podpovršinskim putem s slivova na kojima je značajan antropogeni utjecaj urbanizacije dok je samo vodno lice Medulinske lokve za razliku od ostalih pod značajnijim antropogenim utjecajem. Na lokvama postoji razvijeni ekosustav. Preliminarna analiza parametara kvalitete vode ukazuje na pozitivni ekološki potencijal obrađenih lokvi, te se za lokacije Medulinske lokve i lokve Škunca stani može utvrditi blago onečišćenje s porastom hranjivih tvari što može izazvati proces eutrofikacije. Istraživanje je provedeno u svrhu utvrđivanja stanja i prepoznavanja indikativnih vrijednosti za definiranje značaja pojedinog malog prirodno formiranog vodnog resursa, te potrebe za njegovim očuvanjem. S obzirom da su ovim radom obuhvaćena prva provedena mjerenja na odabranim lokalitetima, rezultate analize potrebno je uzeti uvjetno, te

će se konaĳni zakljuĳak o ekološkome potencijalu istih moći dati nakon više provedenih mjerenja. Očekuje se da će daljnja istraųivanja formirati okvir unutar kojega će se moći razviti metodologija za procjenu stanja malih prirodnih vodnih resursa u ili u blizini urbanih sredina a s ciljem razvoja smjernica ka boljem upravljanju na slivnom podruĳju i samoj površini vodnog resursa, a sve u cilju njihove zaštitе.

ZAHVALA

Izradu ovog rada finansijski su podrųali projekti Sveučilišta u Rijeci: „*Development of the methodology for the condition evaluation, protection and revitalization on small urban water resources*” (ZIP-UNIRI-1500-2-22) u okviru projektne linije ZIP UNIRI Sveučilišta u Rijeci, „*Hidrologija vodnih resursa i identifikacija rizika od poplava i blatnih tokova na krškome podruĳju*“ (UNIRI-TEHNIC-18-54), „*Odrųivo upravljanje rijeĳnim slivom implementacijom inovativnih metodologija, pristupa i alata*“ (UNIRI-TEHNIC-18-129) i projektom „*Sustav podrųke upravljanju za poboljšanje procesa proĳišćavanja na postrojenju za kondicioniranje pitke vode Butoniga* (ZIP-UNIRI-1500-3-22) u okviru projektne linije ZIP UNIRI.

LITERATURA

- [1] Chapman, D. (1992): *Water quality assessment*. In D. Chapman (Ed.), (p. 585). London: Chapman & Hall (on behalf of UNESCO, WHO and UNEP).
- [2] Medulinska lokva: <https://m.facebook.com/groups/4333729936653118/> (31.08.2023.)
- [3] Registar vodnih tijela 2016.-2021., Hrvatske vode, <https://voda.hr/hr/registar-vodnih-tijela-2016-2021> (31.08.2023.)
- [4] Sušanĳ Čule, I; Volf, G; Ožanić, N; Ruųić, I, (2022): *Hydrometric and Water Quality Properties of the Medulin Pond (Republic of Croatia)*, 17th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering (urednici: Mikielewicz, D.; Szydłowski, M.; Gdanjsk, Gdańsk University of Technology Publishing House, str. 205-213 .
- [5] Vlada Republike Hrvatske (2019): *Uredba o standardu kakvoće voda (NN 96/2019)*, Republika Hrvatska, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_10_96_1879.html
- [6] Vlada Republike Hrvatske (2023): *Uredba o izmjenama i dopunama uredbe o standardu kakvoće voda (NN 20/2023)*, RH, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2023_02_20_341.html

AUTORI

doc. dr. sc. Ivana Sušanj Čule ^a

izv. prof. dr. sc. Goran Volf ^a

prof. dr. sc. Nevenka Ožanić ^a

prof. dr. sc. Barbara Karleuša ^a

^a Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku i geotehniku,
Katedra za hidrotehniku, Radmile Matejčić 3, 51000, Rijeka, Hrvatska,
isusanj@uniri.hr, goran.volf@uniri.hr, nozanic@uniri.hr, barbara.karleusa@uniri.hr



R 1.09.

KORIŠTENJE DALJINSKIH MJERENJA ZA ODREĐIVANJE HIDROLOŠKIH VELIČINA

Vedran Ivezić

SAŽETAK: Rad donosi osvrt na mogućnosti korištenja daljinskih mjerenja za određivanje hidroloških veličina koje se mogu koristiti za poboljšanje hidroloških modela. Uspoređuje se kvaliteta vremenske i prostorne rezolucije dostupnih podataka trenutno najčešće korištenih satelita za snimanje Zemlje, a čiji su podaci javno dostupni, poput Landsat satelita, Sentinel satelita, Terra/Aqua satelita i NOAA satelita. Analizira se mogućnost određivanja vegetacijskih indeksa (NDVI i LAI), temperature površine, evapotranspiracije te poplavljenih površina korištenjem podataka prikupljenih satelitima. Navedene hidrološke veličine u velikoj mjeri nije moguće odrediti kao prostorno raščlanjene veličine korištenjem standardnih (točkastih) načina prikupljanja podataka.

KLJUČNE RIJEČI: Daljinska mjerenja, Vegetacijski indeks, Temperatura površine, Evapotranspiracija, Poplavljena površina

APPLICATION OF REMOTE SENSING TO DETERMINING HYDROLOGICAL VALUES

ABSTRACT: The paper provides a review of remote sensing potentials for application on the determination of hydrological values to be used for improving hydrological models. The quality of temporal and spatial resolution of publicly available data from the currently most used Earth imaging satellites, such as Landsat satellites, Sentinel satellites, Terra/Aqua satellites and NOAA GOES satellites, is compared. The potentials for determining vegetational indexes (NDVI and LAI), surface temperature, evapotranspiration and flooded areas using data collected by satellites is analyzed. To a large extent, it is not possible to determine hydrological values as spatially distributed values by using standard (point) methods of data collection.

KEYWORDS: Remote sensing, Vegetational index, Surface temperature, Evapotranspiration, Flooded area

1. UVOD

Uslijed sve većeg pritiska na vodne resurse, što zbog trenutne svjetske populacije od 8 milijardi ljudi, što zbog klimatskih varijacija na mnogim slivovima diljem svijeta, pou-

zdana informacija o dostupnim količinama i raspodjeli istih postala je od vitalne važnosti širom svijeta (Todini, 2007).

Poznavanje svih ulaza i izlaza vode s nekog slivnog područja može dati uvid u trenutačne i buduće raspoložive vodne zalihe, te je proračun površinskih i podzemnih komponenata bilance vode i dalje važan hidrološki izazov. Moderni hidrološki modeli zahtijevaju vremenski neprekinute i prostorno raščlanjene vrijednosti ulaznih varijabli i parametara za potrebe evaluacije hidroloških procesa (Alemaw i Chaoka, 2003; Ivezić i drugi, 2017).

Fokus rada je na mogućnosti korištenja daljinskih mjerenja (prvenstveno satelita) za određivanje vremenski i prostorno raščlanjenih hidroloških veličina. Uspoređuje se kvaliteta vremenske i prostorne rezolucije dostupnih podataka trenutno najčešće korištenih satelita za snimanje Zemlje, a čiji su podaci javno dostupni.

Analizira se mogućnost određivanja vegetacijskih indeksa (NDVI i LAI), temperature površine, evapotranspiracije te poplavnih površina korištenjem podataka prikupljenih satelitima. Ovako prikupljeni podaci se mogu koristiti za poboljšanje hidroloških modela koji se koriste za predviđanje hidroloških procesa i događaja. Navedene hidrološke veličine u velikoj mjeri nije moguće odrediti kao prostorno raščlanjene veličine korištenjem standardnih (točkastih) načina prikupljanja podataka.

2. PODACI

Trenutno najčešće korišteni sateliti za snimanje Zemlje, a čiji su podaci javno dostupni, su Landsat sateliti, Sentinel sateliti, Terra/Aqua sateliti i NOAA sateliti.

Landsat serija satelita se koristi za snimanje Zemlje od 1972. godine. Najnoviji među njima, Landsat 7, 8 i 9 sateliti, imaju prostornu rezoluciju od 15 do 100 metara ovisno o spektralnom pojasu te vremensku rezoluciju od 16 dana za globalno pokrivanje. Ti sateliti prikupljaju različite vrste podataka, poput: multispektralnih podataka (pružaju informacije o spektralnoj refleksiji Zemljine površine u osam različitih valnih duljina), termalnih podataka (pružaju informacije o termalnoj energiji koju emitira Zemljina površina), topografskih podataka (pružaju informacije o visinskim razlikama na Zemlji), podataka o vodenim tijelima (uključuju podatke o dubini i kvaliteti vode te podatke o ledu (pružaju informacije o količini i raspodjeli leda na Zemlji). Američka svemirska agencija NASA omogućava pristup podacima prikupljenih Landsat satelitima putem portala EarthExplorer (USGS, 2019; USGS 2021).

Sentinel sateliti su dio Europskog programa za praćenje okoliša koji koristi više satelita za različite svrhe, uključujući snimanje kopnenih i oceanskih područja, promatranje klime i zraka te praćenje katastrofa. Ovi sateliti imaju prostornu rezoluciju od 5 do 60 metara ovisno o spektralnom pojasu te vremensku rezoluciju od 6 do 12 dana za globalno pokrivanje. Sentinel sateliti prikupljaju različite vrste podataka, poput: optičkih snimki (koriste se za praćenje promjena u korištenju zemljišta, procjenu stanja usjeva itd.), radar-skih snimki (koriste se za praćenje promjena u površinskom pokrivaču, praćenje kretanja leda na polovima, praćenje poplava itd.), atmosferskih podataka (koriste se za praćenje kvalitete zraka i utjecaja čovjeka na okoliš) te topografskih podataka (koriste se za izradu digitalnih modela terena i praćenje promjena u reljefu). Europska svemirska agencija (ESA) omogućava pristup podacima prikupljenim Sentinel satelitima putem portala Copernicus Open Access Hub (ESA, 2012).

Terra i Aqua su NASA-ini sateliti značajni zbog MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) senzora koji se nalazi na njima. On ima manju prostornu rezoluciju, koja iznosi 250 metara za infracrveni spektralni pojas i 500 metara za vidljivi spektralni pojas, no istovremeno pruža svakodnevno pokrivanje kompletne Zemljine površine. MODIS senzor može snimati podatke u 36 spektralnih kanala, od ultraljubičastog do infracrvenog dijela elektromagnetskog spektra. Neki od podataka koje MODIS prikuplja su: temperatura površine zemlje i mora, vlažnost tla, pokrivenost snijegom i ledom, kvaliteta zraka, brzina i smjer morskih struja, gustoća i distribucija zelene vegetacije, praćenje šumskih požara i izmjena u količini šumskog pokrova, procjena bioloških procesa u oceanima, poput cvjetanja algi i ribljeg lova itd. NASA omogućava pristup podacima prikupljenim ovim satelitima putem portala NASA Earthdata (NASA, 2006).

NOAA-18 i NOAA-19 su preostali aktivni sateliti serije satelita u vlasništvu američke Nacionalne uprave za oceane i atmosferu (NOAA) te su značajni zbog senzora AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) koji se nalazi na njima. Prostorna rezolucija AVHRR senzora varira od oko 1 do 4 km za različite kanale. Vremenska rezolucija im je približno 2 sata, što omogućuje višestruke prolaskе iznad istih područja svakog dana. AVHRR je vrsta radiometra koji može prikupiti informacije u različitim spektralnim područjima, uključujući vidljivu, infracrvenu i termalnu infracrvenu regiju. NOAA sateliti prikupljaju različite vrste podataka koji uključuju: meteorološke podatke (koriste se za prognoziranje vremena i praćenje atmosferskih promjena), podatke o oblačnosti (važno za praćenje vremenskih uvjeta i analizu klimatskih promjena), podatke o površinskim temperaturama, podatke o zemljištu (prate promjene u pokrivaču tla, vegetaciji, šumama), podatke o ozonu, podaci o poplavama, olujama i drugim nepogodama itd. Nacionalna uprava za oceane i atmosferu omogućava pristup podacima prikupljenim ovim satelitima putem svog portala (NOAA, 2014).

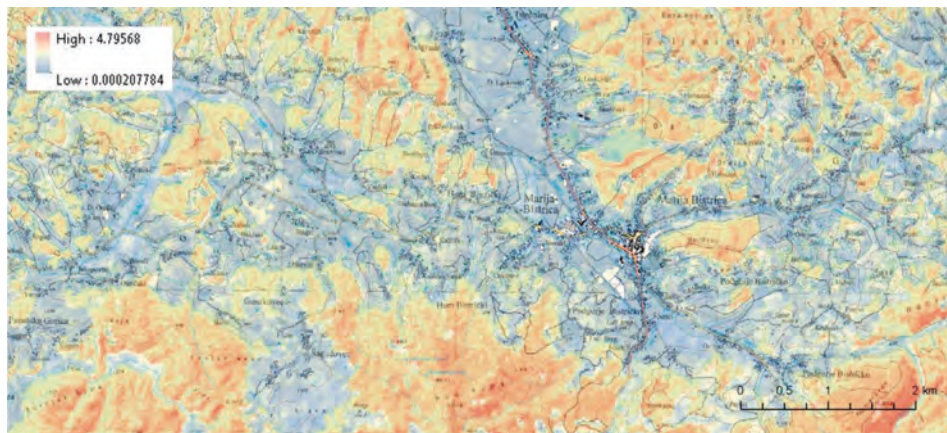
3. ODREĐIVANJE HIDROLOŠKIH VELIČINA

Analizira se mogućnost određivanja vegetacijskih indeksa (NDVI i LAI), temperature površine, evapotranspiracije te poplavljenih površina korištenjem podataka prikupljenih satelitima.

3.1. Vegetacijski indeksi

Vegetacijski indeksi poput NDVI (eng. Normalized Difference Vegetation Indeks) i LAI (eng. Leaf Area Index) su korisne vegetacijske karakteristike koje se mogu proračunati na temelju daljinskih mjerenja.

NDVI indeks je omjer razlike odsjaja blizu infracrvenog spektralnog kanala i crvenog spektralnog kanala i njihovog zbroja. Razlog ovakvog načina definiranja NDVI leži u činjenici da klorofil dobro apsorbira zračenje u plavom (oko 0.45 μm) i crvenom (0.67 μm) dijelu spektra što omogućuje odvijanje fotosinteze, a refleksija ulaznog (sunčevog) zračenja je izraženija u zelenom dijelu spektra (iz tog razloga zdravu vegetaciju vidimo zelenu). U blizini infracrvenog dijela spektra se refleksija naglo povećava zbog unutarnje strukture lišća koja je različita kod različitih tipova vegetacije pa se na temelju te informacije može prilično dobro definirati o kojim se tipovima vegetacije radi. Što je više zračenja reflektirano blizu infracrvenom području spektra (u odnosu na crveni), to će vegetacija biti zdravija.



Slika 1. LAI indeks 6. lipnja 2000. (Landsat-7)

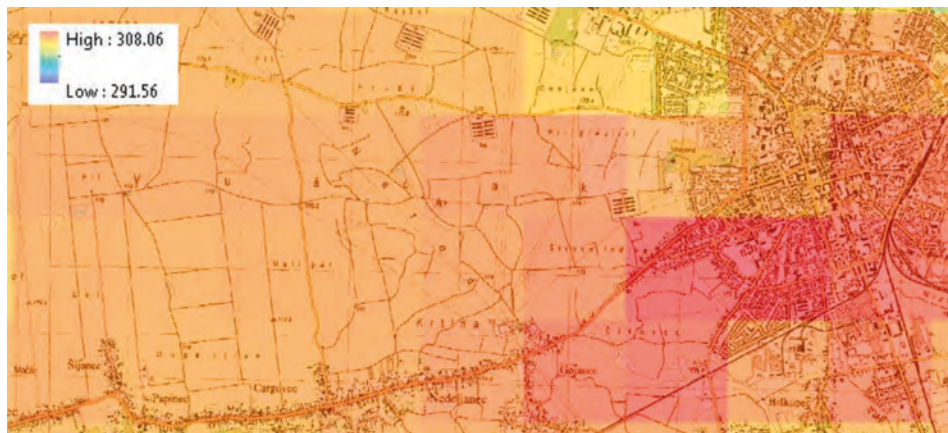
Dok NDVI daje kvalitativnu informaciju o prisutnosti zdrave vegetacije na nekom području, LAI indeks je kvantitativna mjera vegetacijskog pokriva (omjer lisne površine i jedinične površine tla). Na temelju prethodno izračunatog NDVI i drugih parametara, kao što su geometrija sunčeve svjetlosti i atmosferski utjecaji, izračunava se LAI. On pruža informacije o gustoći vegetacije i njezinoj fotosintetskoj aktivnosti.

Na slici 1 je prikazan primjer LAI indeksa opaženog Landsat-7 satelitom, područja oko Marije Bistrice nastalog 6. lipnja 2000. godine.

3.2. Temperatura površine

Određivanje temperature površine tla satelitima se temelji na principima infracrvene radiometrije, gdje se mjeri zračenje koje tijela emitiraju u obliku topline (putem termalnih senzora ili infracrvenih kamera). Na temelju dobivenih podataka o zračenju i valnim duljinama, računalni algoritmi se koriste za izračun temperature površine. Ovi algoritmi uzimaju u obzir atmosferske uvjete, refleksiju sunčeve svjetlosti i druge čimbenike koji mogu utjecati na izračunatu temperaturu.

Na slici 2 je prikazan primjer temperature površine (K) opažene MODIS senzorom na Terra satelitu, područja oko Varaždina nastalog 1. svibnja 2001. godine.

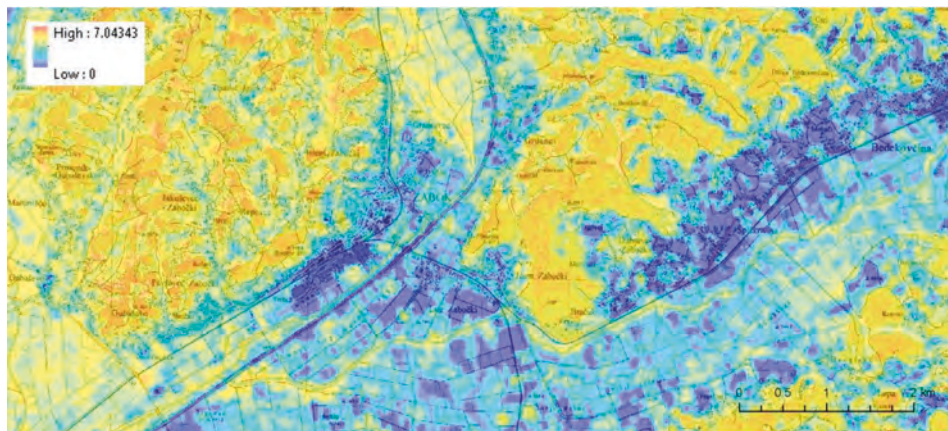


Slika 2. Temperatura površine 1. svibnja 2001. (MODIS)

3.3. Evapotranspiracija

Daljinsko mjerenje je indirektna tehnika mjerenja evapotranspiracije, što uključuje korištenje niza jednačbi strogog hijerarhijskog redosljeda, kako bi se spektralnu radijaciju koju mjere sateliti pretvorilo u procjenu stvarne evapotranspiracije. Postoji čitav niz modela koji na temelju daljinskih mjerenja pružaju uvid u lokalne, regionalne i globalne procjene evapotranspiracije. Neki od najčešće korištenih su SEBAL model (Surface Energy Balance Algorithm for Land), TSEB model (Two-Source Energy Balance algorithm), S-SEBI model (Surface Energy Balance Index) i SEBS model (Soil Energy Balance System).

Na slici 3 je prikazan primjer stvarne evapotranspiracije (mm/dan) opažene Landsat-7 satelitom, područja oko Zaboka nastalog 30. svibnja 2003. godine.



Slika 3. Stvarna evapotranspiracija 30. svibnja 2003. (Landsat-7)

3.4. Poplavljene površine

Sateliti prate poplave putem različitih senzora i tehnika za detekciju promjena na površini Zemlje. Osnovne tehnike uključuju: aktivne senzore (radar), pasivne senzore (optičke) i termalne kamere. Radar na satelitima emitira elektromagnetske valove prema površini i mjeri vrijeme koje je potrebno za povrat reflektiranog signala. Ovo omogućuje mjerenje udaljenosti između satelita i površine. Kada područje poplave preplavi tlo, povratak signala može ukazivati na prisutnost vode. Optički senzori na satelitima hvataju svjetlo koje se reflektira s površine Zemlje. Tijekom poplava, voda može promijeniti reflektirajuće svojstvo, što rezultira promjenom u boji i intenzitetu reflektiranog svjetla. Termalne kamere na satelitima mogu detektirati razlike u temperaturi između poplavljenih područja i okolne površine. Poplavljena područja često imaju niže temperature zbog prisutnosti vode.

Na slici 4 je prikazan primjer poplavljenih površina opaženih Sentinel-1 satelitom, područja oko Karlovca nastalih 12. prosinca 2022. godine.



Slika 4. Poplava 12. prosinca 2022. (Sentinel-1)

ZAKLJUČAK

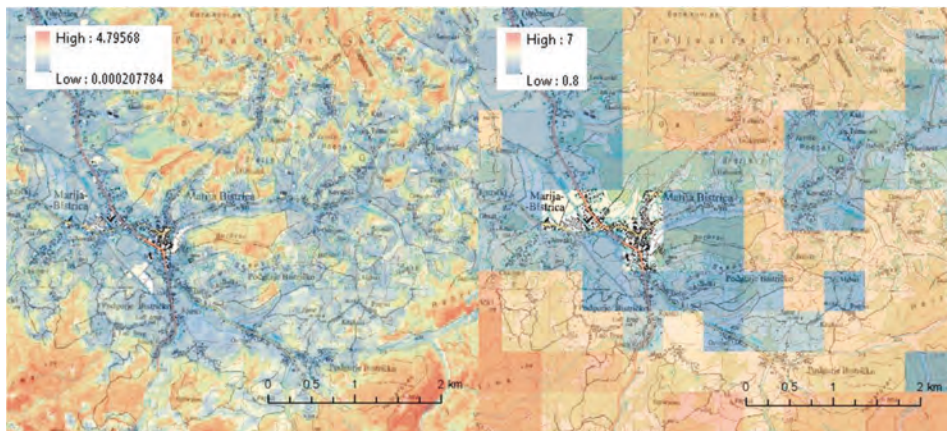
Zbog zahtjeva modernih hidroloških modela za vremenski neprekinutim i prostorno raščlanjenim vrijednostima ulaznih varijabli i parametara analizirana je mogućnost korištenja daljinskih mjerenja za određivanje istih.

Analizirana je mogućnost određivanja vegetacijskih indeksa (NDVI i LAI), temperature površine, evapotranspiracije te poplavnih površina korištenjem daljinskih mjerenja, budući da navedene hidrološke veličine često nije moguće odrediti kao prostorno raščlanjene veličine (pogotovo na razini cijelog sliva) korištenjem standardnih načina prikupljanja podataka. Pored toga, nepogodnost „in situ“ mjerenja, osim što su ona geografski limitirana (točkasta), je što su često i vremenski i financijski vrlo zahtjevna.

Nepogodnost daljinskih mjerenja je što su ona dostupna samo za dane preleta satelita. Tako su procjene analiziranih hidroloških veličina iz daljinskih mjerenja najčešće dostupne ili visoke prostorne rezolucije (5 - 60 m) i niske vremenske rezolucije (5 - 30 dana), u slučaju korištenja podataka Landsat i Sentinel serije satelita, ili pak niske

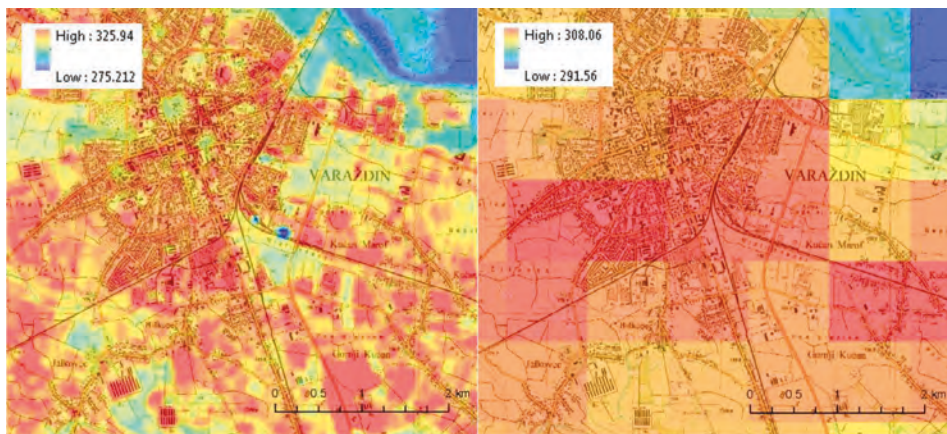
prostorne rezolucije (0,5 - 4 km) i visoke vremenske rezolucije (svaki dan), u slučaju korištenja podataka Terra/Aqua i NOAA serije satelita.

Primjer značajne razlike u kvaliteti prostorne rezolucije pri analizi LAI indeksa područja oko Marije Bistrice nastalog 6. lipnja 2000. godine prikazan je na slici 5.



Slika 5. Usporedba LAI indeksa 6. lipnja 2000. (Landsat i MODIS)

Slično, razlika u kvaliteti prostorne rezolucije pri analizi temperature površine (K) područja oko Varaždina nastalog 1. svibnja 2001. godine prikazana je na slici 6. Obje slike uspoređuju opažanja nastala putem Landsat satelita i MODIS senzora na Terra satelitu.



Slika 5. Usporedba temperature površine 1. svibnja 2001. (Landsat i MODIS)

S obzirom da bi sa stajališta opažanja hidroloških veličina (kao i modernih hidroloških modela) najpogodnije bilo koristiti prostorno raščlanjene vrijednosti i visoke prostorne i vremenske rezolucije, do uspostave daljinskih mjerenja koja će to biti u stanju moguće je ili korištenje snimaka visoke rezolucije, uz određene pristupe koji omogućuju dobivanje vremenski neprekinutih vrijednosti (Ivezić i drugi, 2018a; Ivezić i drugi, 2018b) ili korištenje vremenski neprekinutih snimki niže rezolucije.

LITERATURA

- [1] Alemaw, B.F., Chaoka, T.R. (2003): *A continental scale water balance model: a GIS-approach for Southern Africa*, Physics and Chemistry of the Earth, 28, pp. 957–966
- [2] ESA (2012): *Sentinel-1: ESA's Radar Observatory Mission for GMES Operational Services*, European Space Agency, Nizozemska, 96
- [3] Ivezić, V., Bekić, D., Žugaj, R. (2016): *A review of procedures for water balance modelling*, Journal of Environmental Hydrology, Vol. 25, Paper 4, pp. 1-20
- [4] Ivezić, V., Bekić, D., Horvat, B. (2018a): *Modelling of Basin Wide Daily Evapotranspiration with a Partial Integration of Remote Sensing Data*, Atmosphere, 9(4), 120
- [5] Ivezić, V., Bekić, D., Kerin, I. (2018b): *Estimating basin-wide Air Temperature by Partial Integration of Remote Sensing Data*, Canadian Journal of Earth Sciences, 55(10), pp. 1196-1206
- [6] NASA (2006): *Earth Science Reference Handbook*, National Aeronautics and Space Administration, SAD, 291
- [7] NOAA (2014): *NOAA KLM Users Guide*, National Oceanic and Atmospheric Administration, SAD, 2530
- [8] Todini, E. (2007): *Hydrological catchment modelling: past, present and future*, Hydrology & Earth System Sciences, 11, pp. 468-482
- [9] USGS (2019): *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*, U.S. Geological Survey, SAD, 114
- [10] USGS (2021): *Landsat 9 Data Users Handbook*, U.S. Geological Survey, SAD, 115

AUTOR

dr. sc. Vedran Ivezić, mag. ing. aedif.^a

^a Hidrokonzalt projektiranje d.o.o., Hvarska 11, 10000 Zagreb, Hrvatska, vedran.ivezic@hidrokonzalt.hr



R 1.10.

PRIMJENA UMJETNE INTELIGENCIJE U PROCJENI HIDROLOŠKIH PARAMETARA PRIOBALNIH RIJEKA

Anna Maria Mihel, Nino Krvavica, Jonatan Lerga, Dijana Oskoruš

SAŽETAK: U ovom radu će biti prikazani preliminarni rezultati znanstvenog projekta čiji je cilj razvijanje prikladne računalne metode, potpomognute umjetnom inteligencijom, za procjenu vodostaja i protoka u priobalnim rijekama. Kao pilot područje odabrana je rijeka Neretva, najveća rijeka u istočnom dijelu Jadranskog sliva. Istraživanja su usmjerena na prevladavanje ograničenja postojećih pristupa procjene protoka u priobalnim rijekama koje su pod utjecajem uspora mora. Naime, zbog nelinearne interakcije između plimnih valova i protoka rijeka postojeći pristupi za procjenu protoka temeljeni na fizikalnim modelima nisu pouzdani, stoga su potrebni novi koncepti i metode proračuna. Kombiniranjem naprednih metoda strojnog učenja i numeričkog modeliranja, postignuta je preciznija i pouzdanija procjena protoka slatke vode koja se ulijeva u Jadransko more, kao i prognoza vodostaja na kritičnim lokacijama uzvodno od ušća. Prikazano istraživanje i razvijene metode imaju široku primjenu u upravljanju vodnim resursima i doprinose održivosti priobalnih ekosustava.

KLJUČNE RIJEČI: Priobalne rijeke, Procjena protoka, Strojno učenje, Numeričko modeliranje

ASSESSING HYDROLOGICAL PARAMETERS IN COASTAL RIVERS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

ABSTRACT: This paper presents the preliminary results of a scientific project aimed at developing suitable computer methods, supported by artificial intelligence, for assessing water levels and discharges of coastal rivers. The Neretva River, the largest river in the eastern part of the Adriatic basin, was selected as the pilot area. The research aimed to overcome the limitations of existing approaches to discharge estimation in coastal rivers, which are affected by tidal surge. Due to a nonlinear interaction between tidal waves and river flow, the existing approaches to discharge estimation based on physical models are not reliable, and new concepts and calculation methods are needed. By combining advanced machine learning methods and numerical modelling, a more accurate and reliable estimation of freshwater discharge into the Adriatic Sea and better forecasting of water levels on critical locations upstream of river mouths were achieved. The presented research and developed methods can be widely applied in water resources management and contribute to the sustainability of coastal ecosystems.

KEYWORDS: Coastal rivers, Discharge estimation, Machine learning, Numerical modelling

1. UVOD

Priobalne rijeke su značajna područja gdje je razumijevanje dinamike riječnog toka važno za uspješno upravljanje vodnim resursima, procjenu utjecaja podizanja razine mora i pronosa sedimenta, planiranje sustava navodnjavanja te prognoziranje ekstremnih pojava kao što su suše i poplave. Za razumijevanje dinamike ovakvih ekosustava potrebno je imati uvid u sve čimbenike koji mogu imati negativan utjecaj, pri čemu je utjecaj klimatskih promjena posebno naglašen, pogotovo u pogledu podizanja razine mora (Pörtner, 2022). Za razliku od kopnenih rijeka, dinamika toka priobalnih rijeka je znatno kompleksnija zbog djelovanja plime i oseke, prirodnih pojava nastalih atmosferskim djelovanjima (poput meteoroloških tsunamija i olujnih uspora), naglih promjena temperature i oborina prilikom čega nastupaju razdoblja poplava i suša te brojnih drugih negativnih utjecaja (Pörtner, 2022). Uz klimatske promjene, odnosno prirodne čimbenike, bitno je uzeti u obzir i antropogene čimbenike i njihov utjecaj na dinamiku riječnog toka, poput poljoprivrede, urbanizacije te izgradnje hidrauličkih infrastrukture kao što su nasipi, brane i hidroelektrane (Vercruyse i Grabowski, 2021).

Protok vode je osnovni hidrološki parametar koji se računa ili procjenjuje na osnovu izmjerene razine i brzine vode, jer ne postoji način pomoću kojega je njegovu vrijednost moguće direktno izmjeriti. U novije vrijeme protok se najčešće određuje korištenjem akustičnih strujomjera (ADCP), pomoću kojih se protok određuje na osnovu izmjerenih polja brzina i poprečnih presjeka korita rijeke. Međutim, u Hrvatskoj se još uvijek protok najčešće određuje na temelju protočne krivulje koja definira jednoznačnu zavisnost protoka o vodostaju na temelju pojedinačnih hidroloških mjerenja. Nažalost primjenjivost protočne krivulje u slučaju priobalnih rijeka nije moguć zbog njihovog nestacionarnog karaktera i utjecaja uspora mora. Iz tog razloga nedostaju pouzdani podaci o količinama slatke vode koja utječe u Jadransko more (Krvavica i drugi, 2021b).

Procjena protoka u priobalnim rijekama moguća je i pomoću numeričkih modela (npr. Krvavica i drugi, 2021a,b). Numerički modeli za razliku od protočnih krivulja također uključuju i geometrijske i fizikalne parametre rijeke kao i meteorološke parametre koji mogu poboljšati preciznost rezultata. No iako su numerički modeli primjenjivi u navedenu svrhu, određivanje protoka iz poznatih razina vode je inverzni problem, koji nije jednostavno riješiti standardnim pristupima, zbog čega se oni koriste više u svrhu validacije procijenjenih protoka te nekih drugih problema kao što je određivanje prodora slanog klina. Također, numerički modeli imaju svoja ograničenja i zahtjeve, kao što je kalibracija koja često zahtjeva velike količine izmjerenih hidroloških parametara. Zbog navedenih ograničenja numeričkih modela, kao alternativni pristup nameću se modeli strojnog učenja.

Vrlo je mali broj istraživanja u literaturi koja se bave procjenom protoka u priobalnim rijekama pomoću strojnog učenja. Jedno od recentnih istraživanja fokusirano je na rekonstrukciju protoka rijeke putem dostupnih podataka o razini vodostaja s uzvodnog i nizvodnog dijela priobalne rijeke koristeći šest različitih modela strojnog učenja (Thanh i drugi, 2022), drugo istraživanje koristi dva pristupa za prognoziranje i povijesnih i budućih vrijednosti protoka (Hidayat i drugi, 2014), dok preostala dva rada istražuju problem uspostave zavisnosti između razine vodostaja i protoka, uzimajući u obzir vodostaje s nekoliko postaja (Habib i Meselhe, 2006) te uključivanjem i histereze (Wolfs i Willems, 2014).

Fokus ovog rada je na predviđanju protoka priobalne rijeke Neretve koristeći podatke o razini vodostaja na četiri lokacije dobivene numeričkim modelom. Za procjenu protoka koriste se tri modela strojnog učenja različitog stupnja kompleksnosti; stabla odlučivanja, slučajne šume te duge kratkotrajne memorije, čiji parametri su optimizirani koristeći metodu peterostruke unakrsne validacije.

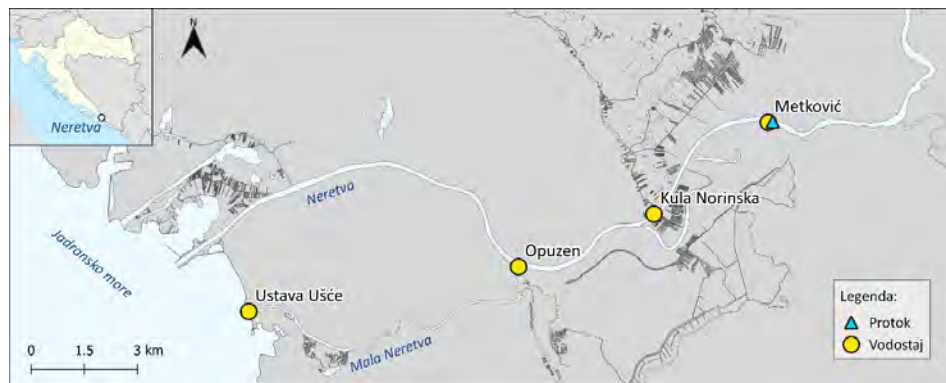
2. PODACI

2.1. Promatrano područje

Istraživanje je provedeno za područje rijeke Neretve, odnosno za nizvodni tok rijeke duljine 22 km koji se nalazi u Republici Hrvatskoj, gdje i utječe u Jadransko more (Krvavica i drugi, 2021b). Hidrološki režim rijeke Neretve ima izražen sezonski karakter, velike vode su uobičajene za razdoblje od listopada do travnja, dok male vode prevladavaju od svibnja do rujna (Krvavica i drugi, 2021b). Problem koji se često javlja na predmetnom području odnosi se na opasnosti od poplava tijekom vodnog razdoblja, odnosno na problem prodora slane morske vode tijekom sušnog razdoblja, što izrazito negativno utječe na agronomske aktivnosti specifične za deltu Neretve.

2.2. Simulacija podataka

S obzirom da je cilj ovoga rada usporediti različite pristupe strojnog učenja te odabrati optimalne modele za problem procjene protoka u priobalnim rijekama, u preliminarnom koraku korišteni su simulirani podaci dobiveni pomoću numeričkog modela umjesto izmjerenih podataka koji mogu sadržavati nefizikalni šum te različite nepravilnosti. Podaci o razinama vodostaja i protoka dobiveni su koristeći HEC-RAS računalni program (*engl. Hydrologic Engineering Center-River Analysis System*). Pomoću navedenog modela provedena je simulacija 1D nestacionarnog toka rijeke Neretve, koristeći geometriju korita rijeke te poznate rubne uvjete. Na nizvodnom rubu domene rijeke zadana je vremenska serija izmjerenih razina mora (postaja Ustava ušće - nizvodno), dok je na uzvodnom rubu domene zadana vremenska serija izmjerenih protoka (ADCP postaja kod mosta u Metkoviću). Uspostavljeni model je jednodimenzionalan i barotropan, odnosno usvojena je pretpostavka homogene gustoće fluida, s jednolikom temperaturom i salinitetom po dubini i duljini toka. Razina vodostaja je simulirana za četiri postaje, jednu na samom ušću rijeke, zatim kod postaje Opuzen (11 km od ušća), postaje Kula Norinska, na pritoku rijeke Norin (16 km od ušća) te postaje Metković (22 km od ušća). Sve tri uzvodne postaje nalaze se pod usporom mora. Slika 1. prikazuje navedene stanice za koje su modelirani vremenski nizovi razine vode. Simulacija je provedena za razdoblje od tri godine, od 2016. pa sve do 2019., s vremenskim korakom od sat vremena.



Slika 1. Hidrološke postaje za mjerenje vodostaja i protoka na rijeci Neretvi

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

3.1. Priprema podataka, razvoj i optimizacija modela

Prvi korak pripreme simuliranih podataka predstavlja podjela vremenskog niza u dva dijela, skup za treniranje i skup za testiranje modela. Korištenje ovakvog pristupa je uobičajeno iz razloga što se trenirani model kasnije evaluira na neviđenim podacima i testira može li pružiti dobru moć generalizacije, pri čemu je 80/20 uobičajena podjela podataka, gdje se 80 % podataka koristi za proces treniranja modela, dok se preostalih 20 % uzima za završni proces testiranja performansi modela.

Idući korak je provedba postupka normalizacije nad kreiranim skupovima podataka. Normalizacija svodi varijable na jednak raspon vrijednosti time umanjujući mogućnost pojave problema pristranosti modela nekoj od varijabli, također, može pridonijeti i poboljšanju performansi modela te uz to pruža prednost zadržavanja izvornog oblika distribucije podataka. Za potrebe ovog rada izabrana je metoda *MinMaxScaler* s rasponom od 0 do 1.

Zatim slijedi kreiranje pomičnog prozora koji sadrži povijesna 24 satna opažanja razine vodostaja na četiri simulirane stanice, s ciljem predviđanje vrijednosti protoka slijedećeg sata. Kao ulaz su odabrana prethodna 24 sata iz razloga što mogu obuhvatiti nagle promjene koje se događaju u priobalnoj rijeci i prisutne dnevne oscilacije nastale zahvaljujući utjecaju plime i oseke.

3.2. Razvoj i optimizacija modela

Za ovaj rad odabrana su tri različita regresijska modela strojnog učenja i primijenjena na simuliranoj vremenskoj seriji razine vodostaja i protoka, a to su stablo odlučivanja (*engl. Decision Tree, DT*), slučajna šuma (*engl. Random Forest, RF*), i duga kratkotrajna memorija (*engl. Long Short Term Memory, LSTM*). Odabrani modeli korišteni su za rješavanje regresijskog problema predviđanja protoka jednog sata unaprijed. Za svaki model definiran je raspon vrijednosti hiperparametara, a najbolja kombinacija navedenih je izabrana metodom peterostruke unakrsne validacije na temelju kriterija srednje kvadratne pogreške. Završni modeli su kreirani uz pomoć najboljih kombinacija hiperparametara. Za DT model optimizirani su hiperparametri *max_depth*, *min_samples_*

split, te *min_samples_leaf*; za RF *n_estimators*, te prethodno navedeni parametri DT-a, i završno za LSTM model *hidden_units*, *num_of_layers*, *dropout_rate*, *learning_rate*. Na LSTM model primijenjen je *Adam* optimizator i metoda ranog zaustavljanja učenja modela, a proces treniranja je ograničen na 100 epoha.

3.3. Mjere procjene točnosti predviđanja modela

Evaluacijske mjere za modele strojnog učenja su značajne jer se na temelju njih dobiva numerička procjena performansi modela. U hidrologiji su učestalo korištene tri evaluacijske mjere, korijenska srednja kvadratna pogreška (*engl. root mean squared error, RMSE*), Nash-Sutcliffe koeficijent efikasnosti (*engl. Nash-Sutcliffe Efficiency coefficient, NSE*) te srednja apsolutna pogreška (*engl. mean absolute error, MAE*). Model se smatra dovoljno preciznim ukoliko su vrijednosti RMSE i MAE čim bliži nuli te NSE jedinici.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Performanse tri odabrana modela su uspoređene s referentnim modelom višestruke linearne regresije (MLR), da bi se utvrdilo postoji li opravdani razlog za korištenje više računalnih resursa zbog povećane kompleksnosti modela. Najbolja kombinacija hiperparametara za DT model dobivena je za *max_depth=50*, *min_samples_split=10*, te *min_samples_leaf=8*; za RF model *n_estimators=100*, *max_depth=50*, *min_samples_split=5*, te *min_samples_leaf=1*, te LSTM model *learning_rate=0.001*, *num_layers=1*, *hidden_units=10* i *dropout=0.1*.

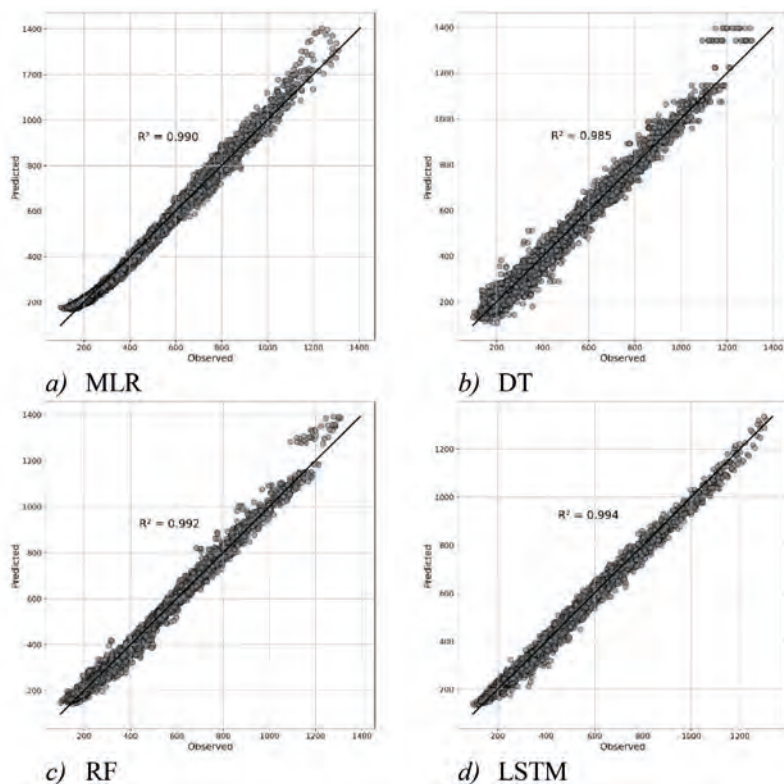
Tablica 1. Rezultati modela za HECRAS podatke

Model	RMSE	NSE	MAE
MLR	25,05	0,990	18,51
DT	30,69	0,985	21,47
RF	21,98	0,992	15,14
LSTM	19,67	0,994	14,54

Prema podacima iz Tablice 1. vidljivo je da LSTM model pruža bolje rezultate za svaku evaluacijsku metriku, od ostalih modela. Poboljšanje LSTM modela u RMSE metrici iznosi 21,5 % u odnosu na referentni model, 35,9 % u odnosu na DT i 10,5 % u odnosu na RF. U NSE metrici poboljšanje LSTM modela iznosi za 0,4 %, 0,9 % i 0,2 % sekvencijalno za referentni model, DT i RF. I konačno rezultati zadnje mjere MAE za LSTM model bolji su za 21,4 % od referentnog modela, 32,3 % od DT i 4,96 % od RF. Usporedbom dobivenih rezultata referentni model se pokazao boljim od modela DT, čime se dolazi do zaključka kako DT model iako je kompleksniji od referentnog modela, nije u mogućnosti uhvatiti kompleksne obrasce u simuliranim podacima.

Na Slici 2. prikazan je dijagram predviđenih naspram stvarnih vrijednosti protoka za referentni model i odabrana tri modela strojnog učenja. Temeljem danih prikaza može se primijetiti kako točke koje najbolje prate liniju najboljeg prilagođavanja za cijeli raspon vrijednosti protoka odgovaraju LSTM modelu. Za razliku od LSTM modela, ostali modeli imaju značajnih problema pri visokim protocima protoka, odnosno protocima većima

od 1.200 m³/s. Kod najnižih vrijednosti protoka, onima manjima od 200 m³/s, svi modeli osim DT modela imaju dobru sposobnost predikcije što se zaključuju na temelju male disperzije točaka oko najbolje linije prilagođavanja.



Slika 2. Dijagram raspršenosti stvarnih naspram predviđenih vrijednosti protoka

Nakon razmatranja tabličnih vrijednosti evaluacijskih mjera i vizualnih prikaza, LSTM model pokazao se adekvatnim za primjenu prilikom predviđanja protoka čak i u slučaju ekstremnih uvjeta jer uspješno estimira vrlo niske i visoke vrijednosti za razliku od preostalih modela. Dodana kompleksnost LSTM modela time je djelomično opravdana jer se model pokazao korisnim za dobivanje boljih rezultata.

ZAKLJUČAK

Svrha ovog rada bila je primjena modela strojnog učenja za procjenu protoka stanice Metković na rijeci Neretvi, koristeći simulirane podatke o razini vodostaja s četiri stanice do 22 km uzvodno od ušća rijeke. Rezultati kompleksnijih modela su uspoređeni s referentnim modelom višestruke linearne regresije.

Zaključeno je kako LSTM model pruža najbolja predviđanja protoka u odnosu na preostale modele za cijeli raspon vrijednosti protoka i prema tome predstavlja najbolje rješenje iako je računalno zahtjevniji. U odnosu na referentni model, jedino je model stabla odlučivanja pružio lošije rezultate. U budućem radu koristit će se i izmjereni po-

daci s hidroloških postaja te će se istražiti utjecaj dodatnih hidroloških parametara kao što su temperatura i salinitet na performanse modela te će se testirati kompleksniji modeli poput modela temeljenih na pažnji te hibridnih modela nastali kombinacijom numeričkih modela i strojnog učenja.

ZAHVALA

Ovaj rad je u potpunosti podržala Hrvatska zaklada za znanost, EU Horizon projekt "IN-NO2MARE" pod brojem 101087348, te projekti Sveučilišta u Rijeci uniri-tehnic-18-17, uniri-tehnic-18-15, uniri-tehnic-18-54, i ZIP-UNIRI-1500-1-20.

LITERATURA

- [1] Habib, E.H., Meselhe, E.A., (2006): *Stage-discharge relations for low gradient tidal streams using data-driven models*, Journal of Hydraulic Engineering, vol. 132, no. 5, 482–492.
- [2] Hidayat, H., Hoiyink, A. J. F., Sassi, M. G., Torfs, P. J. J. F., (2014): *Prediction of discharge in a tidal river using artificial neural networks*, Journal of Hydrologic Engineering, 19(8), 04014006.
- [3] Krvavica, N., Gotovac, H., Lončar, G., (2021a): *Salt-wedge dynamics in microtidal Neretva River estuary*, Regional Studies in Marine Science, 43, 101713.
- [4] Krvavica, N., Lončar, G., Oskoruš, D., Ružić, I., (2021b): *Prilog unaprjeđenju sustava hidroloških mjerenja prijelaznih voda: Hidraulička i spektralna analiza protoka na rijeci Neretvi*. Hrvatske vode, 29, 118, 255-274.
- [5] Pörtner, H.-O., et al., (2022): *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, IPCC, Cambridge University Press.
- [6] Thanh, H. V., Binh, D. V., Kantoush, S. A., Nourani, V., Saber, M., Lee, K. K., Sumi, T., (2022): *Reconstructing daily discharge in a megadelta using machine learning techniques*, Water Resources Research, 58(5), e2021WR031048.
- [7] Vercruyse, K., Grabowski, R. C., (2021): *Human impact on river planform within the context of multi-timescale river channel dynamics in a Himalayan river system*, Geomorphology, vol. 381, 107659.
- [8] Wolfs, V., Willems, P., (2014): *Development of discharge-stage curves affected by hysteresis using time varying models, model trees and neural networks*, Environmental Modelling & Software, vol. 55, 107–119.

AUTORI

Anna Maria Mihel, mag. ing. comp. ^a

dr. sc. Nino Krvavica ^{b,c}

prof. dr. sc. Jonatan Lerga ^{c,d}

doc. dr. sc. Dijana Oskoruš dipl. ing. građ. ^e

^a Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Zavod za Računarstvo, Vukovarska 58, 51000 Rijeka, Hrvatska, amihel@riteh.hr

^b Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka, Hrvatska, nino.krvavica@uniri.hr

^c Sveučilište u Rijeci, Centar za umjetnu inteligenciju i kibernetičku sigurnost, 51000 Rijeka, Hrvatska

^d Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Zavod za Računarstvo, Vukovarska 58, 51000 Rijeka, Hrvatska, jlerga@riteh.hr

^e Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Hrvatska, doskorus@gfv.hr



R 1.11.

IZRADA HIDROLOŠKOG MODELA RIJEKE BEDNJE BAZIRANOG NA POVRATNOJ NEURONSKOJ MREŽI

Dora Varjačić, Dijana Oskoruš, Karlo Leskovar

SAŽETAK: Informacije dobivene analizom ponašanja i kretanja vode kroz hidrološki ciklus od velike su važnosti u područjima kao što su upravljanje vodnim resursima, upravljanje rizicima od opasnosti povezanih s vodom, projektiranje infrastrukture, proizvodnja električne energije i zaštita okoliša.

Hidrološko modeliranje moćan je alat koji omogućava simulaciju i razumijevanje interakcija između različitih komponenti hidrološkog ciklusa, a odabir vrste modela ovisi o ciljevima istraživanja, dostupnim podacima, računalnim resursima i karakteristikama hidrološkog sustava koji se modelira. U hidrološko modeliranje sve se više integrira umjetna inteligencija, kako bi se prevladala ograničenja klasičnih modela te poboljšala njihova točnost i mogućnosti predviđanja.

U ovom radu korišten je programski jezik Python za razvoj i implementaciju hidrološkog modela baziranog na povratnoj neuronskoj mreži, grani umjetne inteligencije. Ova specifična arhitektura neuronske mreže odabrana je zbog svoje sposobnosti određivanja nelinearnih odnosa i vremenskih ovisnosti u hidrološkim podacima.

Izrađen je model sliva Bednje, koji ima bujični režim ovisan o količini oborina. Model predviđa protoke na hidrološkoj postaji Ludbreg, na temelju prethodnih podataka o oborinama i protocima s uzvodnih postaja. Upotrebom navedenih podataka dobiven je model visoke točnosti, dok verzija modela koji za ulaze ne koristi protoke nije dala zadovoljavajuće rezultate.

KLJUČNE RIJEČI: Sliv Bednje, Hidrološko modeliranje, Povratna neuronska mreža

DEVELOPING A HYDROLOGICAL MODEL OF THE BEDNJA RIVER BASED ON A RECURRENT NEURAL NETWORK

ABSTRACT: The information obtained from analysing the behaviour and movement of water through the hydrological cycle is of great importance in areas such as water resources management, risk management of water-related hazards, infrastructure design, electricity generation and environmental protection.

Hydrological modelling is a powerful tool that enables a simulation and understanding of interactions between different components of the hydrological cycle. The selection of a model type depends on the research objectives, available data, computer resources and

characteristics of the hydrological system being modelled. Artificial intelligence has been increasingly integrated into hydrological modelling in order to overcome the limitations of traditional models and enhance their accuracy and predictive capabilities.

In this paper, the Python programming language was used for the development and implementation of a hydrological model based on a recurrent neural network, which is a subfield of artificial intelligence. This specific neural network architecture was selected for its ability to determine non-linear relationships and temporal dependencies in hydrological data.

A model of the Bednja basin was created with the flood regime dependent on the amount of precipitation. The model predicts flows at the Ludbreg hydrological station based on previous data on precipitation and flows from the upstream stations. Using the above data, a high accuracy model was obtained, whereas a model version not using flows for inputs did not give satisfactory results.

KEYWORDS: Bednja basin, Hydrological modelling, Recurrent neural network

1. UVOD

Hidrologija je znanost koja se bavi proučavanjem vode, njene pojave, vremenske i prostorne distribucije i svojstava na Zemlji. Uključuje promatranje, mjerenje i analizu različitih hidroloških procesa koji su dio hidrološkog ciklusa, koji je od temeljne važnosti za održavanje ravnoteže vode na Zemlji, održavanje života i utjecaj na vremenske i klimatske obrasce (Shaw, 1994). Važnost hidrologije upravo je u razumijevanju i praćenju spomenutih hidroloških procesa koje zatim, kroz različite alate i uz prikupljene podatke, omogućava: upravljanje vodnim resursima, upravljanje poplavama, sušama i drugim opasnostima vezanim za vodu, upravljanje kvalitetom vode i kontrolu onečišćenja, zaštitu okoliša, projektiranje i upravljanje infrastrukturom, razumijevanje klimatskih promjena te urbano planiranje i razvoj (Davie, 2019).

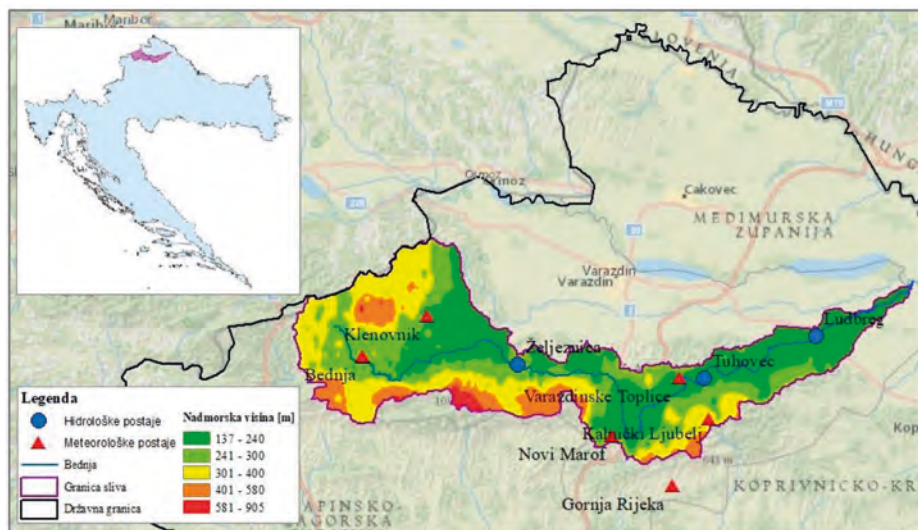
Hidrološko modeliranje jedan je od alata koji se koristi kako bi poboljšali svoje razumijevanje hidroloških procesa, istražili različite scenarije i napravili predviđanja o dostupnosti vode, rizicima od poplava i drugim povezanim pojavama. Postoje različite vrste hidroloških modela koji se koriste za simulaciju i predstavljanje različitih aspekata hidrološkog sustava, a mogu varirati od jednostavnih empirijskih modela do složenijih fizički utemeljenih modela (Devia i drugi, 2015). S obzirom da je u posljednjih nekoliko desetljeća upotreba umjetne inteligencije doživjela porast u velikom broju znanstvenih područja, njena upotreba proširena je i na područje hidrološkog modeliranja.

Umjetna inteligencija je široko polje računalne znanosti koje se fokusira na stvaranje inteligentnih sustava sposobnih za simulaciju inteligencije nalik ljudskoj. To je najširi pojam koji se koristi za klasifikaciju sustava koji oponašaju ljudsku inteligenciju, a koristi se za razvoj algoritama, tehnika i sustava koji omogućuju računalima obavljanje zadataka kao što su percepcija, rasuđivanje, učenje i donošenje odluka. Umjetna inteligencija može se implementirati različitim metodama, uključujući strojno učenje i neuronske mreže. Neuronske mreže pokazale su se posebno učinkovite u hidrološkom modeliranju zbog svoje sposobnosti otkrivanja složenih odnosa u podacima i mogućnosti prilagodbe nelinearnostima (Dawson i Wilby, 2001).

U radu je opisan princip rada neuronskih mreža, te proces izrade i rezultati hidrološkog modela baziranog na povratnoj neuronskoj mreži. Izrađen je hidrološki model za područje sliva Bednje, koji na temelju vrijednosti oborina i protoka izmjerenih u određenom prošlom razdoblju predviđa buduće protoke na hidrološkoj postaji Ludbreg. Nakon pregleda i procjene učinkovitosti dobivenog modela, razmotrene su prednosti i nedostaci ovakvog pristupa hidrološkom modeliranju.

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Bednja je najduža rijeka čiji su izvor i ušće u Hrvatskoj, a njezin sliv smješten je u sjeverozapadnoj Hrvatskoj (Slika 1.). Desna je pritoka rijeke Drave pa pripada dunavskom, odnosno crnomorskom slivu. Ukupna dužina toka Bednje je 106 km (Petrić, 2001). Slivno područje Bednje površine je otprilike 596 km², a može se podijeliti na dva dijela, od kojih brdski dio zauzima oko 70 % sliva (Kos i drugi, 2021).



Slika 1. Sliv Bednje i položaj meteoroloških i hidroloških postaja

2.1. Hidrološke značajke

Slivno područje Bednje vrlo je izduženo. Lepezasto je prošireno u izvorišnom području (širine do 29 km), nakon čega se sužava prema području ušća (širine 4 km). Prosječna širina sliva je 5,8 km (Počakal, 1982). Uzdužni profil rijeke Bednje uglavnom odgovara nizinskoj rijeci s minimalnim visinskim promjenama. No, korito rijeke omeđeno je planinama i brežuljcima, koji čine i razvodnicu sliva, pa je cjelokupno područje sliva pretežito brdsko. Tok Bednje dijeli se na: gornji tok (do ušća Željeznice), srednji tok (do ušća Velinečkog potoka) i donji tok do ušća u Dravu (Šimunić i drugi, 1978).

Bednja ima peripanonski kišno - snježni (bujični) režim, koji ovisi o količini oborina (i topljenju snijega), s maksimumom protoka u proljeće (ožujak - travanj) i čestim plavljenjem doline (Čanjevac, 2013). Nepovoljan raspored oborina i njihovo otjecanje s padina Ivančice, Ravne Gore i Kalničkog gorja u korito rijeke u kombinaciji s visokim inten-

zitetom oborina, uzrokuju visoku i brzu koncentraciju toka u gornjem toku te naglo plavljenje doline (Leskovar i drugi, 2021).

Osnovni hidrološki podaci dobivaju se motrenjima na hidrološkim postajama mreže površinskih i mreže podzemnih voda na prostoru Republike Hrvatske, koje su u nadležnosti Državnog Hidrometeorološkog Zavoda. Na Slici 1. Prikazane su hidrološke postaje čiji podaci su korišteni u izradi modela.

2.2. Klimatske i meteorološke značajke

Područje sliva Bednje ima umjereno toplu i kišnu klimu, s najvećim intenzitetom padalina u zimskom dijelu godine. Najtopliji mjeseci su ljetni mjeseci (srpanj, kolovoz), dok su najhladniji zimski mjeseci (siječanj, veljača). Ovo područje ima kontinentalni tip godišnjeg hoda oborina. Tipičan je sjeveroistočni vjetar koji najčešće puše u zimskom dijelu godine donoseći hladno i vedro vrijeme. Najvjetrovitije razdoblje godine je proljeće (istočnjak), a najvjetrovitije područje su vrhovi Ivančice. No, zbog okruženosti planinama i brežuljcima, temperature na samom području sliva često se znatno razlikuju od onih u obližnjim gradovima (Varaždinu ili Krapini). Takav smještaj, pri određenim uvjetima, prilikom spuštanja hladnog zraka niz padine uzrokuje temperaturnu inverziju i niže temperature zraka, posebno u zimskim mjesecima (Ivandić i drugi, 2015).

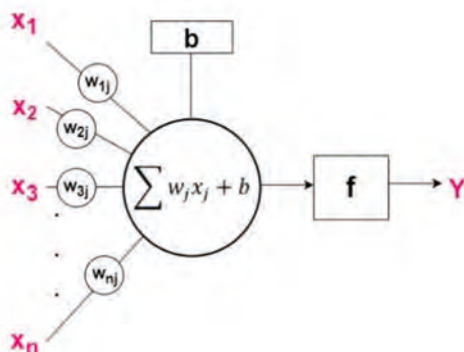
Za izradu hidrološkog modela korišteni su podaci o oborinama s pet meteoroloških postaja s područja sliva i s jedne postaje izvan slivnog područja (Slika 1.)

3. METODOLOGIJA

3.1. Umjetne neuronske mreže

Umjetne neuronske mreže (eng. *Artificial Neural Network*) su grana umjetne inteligencije čiji je generalni cilj što bolja imitacija ljudskog mozga - njegove inteligencije, sposobnosti učenja i donošenja odluka, pa čak i kreativnosti, u umjetnom obliku. Umjetne neuronske mreže inspirirane su upravo stvarnom strukturom i funkcioniranjem ljudskog mozga, posebno međusobno povezanom mrežom neurona koji obrađuju i prenose informacije. Sastoje se od više međusobno povezanih jedinica (čvorova), zvanih umjetni neuroni, koji su organizirani u slojeve. Umjetni neuroni primaju ulaze od drugih neurona ili vanjskih izvora, izvode proračune na tim ulazima i generiraju izlazni signal. Izlaz jednog neurona postaje ulaz za drugi, omogućavajući protok informacija kroz mrežu.

Neuroni iz susjednih slojeva međusobno su povezani vezama, a svakoj vezi dodjeljuje se težinski faktor (w), koji predstavlja relativnu snagu veze dvaju neurona. U svakom neuronu računa se težinska suma uz dodavanje pristranosti (b) te se ona provodi kroz aktivacijsku funkciju (Slika 2.) (Nielson, 2018).



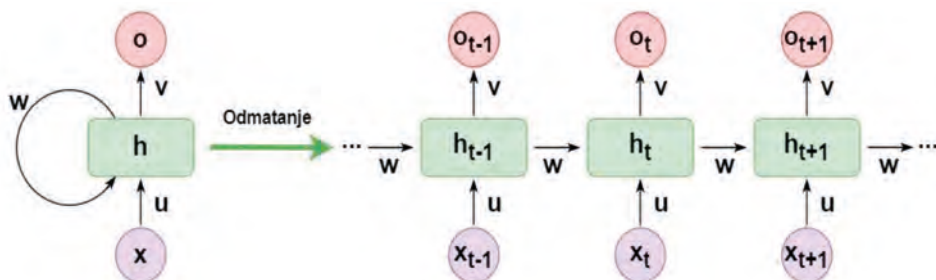
Slika 2. Aktivacija jednog neurona

Izračunom aktivacija u neuronima provodi se proces propagacije u naprije, dok informacije ne stignu do izlaznog sloja. Zatim se računa funkcija pogreške. U ovom radu za izračun funkcije pogreške korištena je MSELoss (Mean Squared Error Loss), koja je dostupna kao dio PyTorch modula u Python-u. Minimiziranje funkcije pogreške, odnosno optimiziranje izvedbe modela, napravljeno je metodom gradijentnog spusta. Algoritam koji omogućava učinkovit izračun gradijenata naziva se povratna propagacija. U tu svrhu korišten je optimizer Adam (Adaptive Moment Estimation). Na ovaj način neuronska mreža uči, odnosno povećava svoju točnost.

3.2. Povratne neuronske mreže

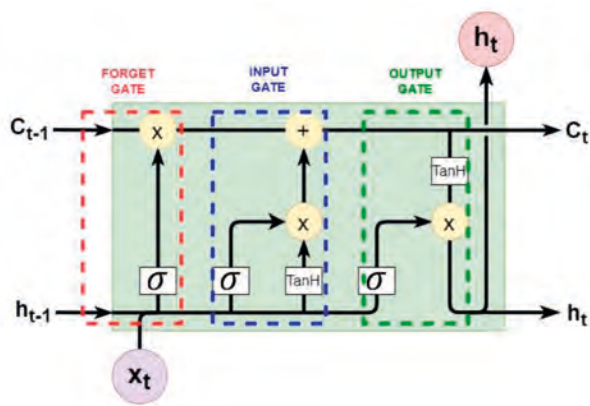
Povratne neuronske mreže (eng. *Recurrent Neural Networks/RNN*) uglavnom su namijenjene za rad s nizovima podataka, kao što su tekstualni podaci i vremenski nizovi podataka. Ove mreže koriste povratne veze unutar mreže kako bi osigurale pamćenje prošlih informacija, odnosno izlaz iz prethodnog koraka koristi se kao ulaz u trenutni korak (Slika 3.) (Medsker i Jain, 1999).

Glavna značajka ovih mreža je njihovo skriveno stanje. Skriveno stanje odnosi se na unutarnju memoriju mreže, koja hvata i pohranjuje informacije iz prethodnih koraka u nizu. Stoga povratna neuronska mreža koristi modificiranu varijantu algoritma povratne propagacije - povratnu propagaciju kroz vrijeme (Lilicrap i Santoro, 2019).



Slika 3. Arhitektura povratne neuronske mreže (x - ulaz, h - skriveno stanje, o - izlaz, u, v, w - težinski faktori pojedinih veza)

Mreža dugog kratkoročnog pamćenja (eng. *Long Short Term Memory/LSTM*) je varijanta povratne neuronske mreže, napravljena kako bi se riješio problem nestajućeg gradijenta i postiglo učinkovito hvatanje dugoročnih ovisnosti u nizovima podataka (Yu i drugi, 2019). Glavna inovacija LSTM mreža je ugradnja posebnih memorijskih ćelija i mehanizama usmjeravanja koji omogućuju mreži da zadrži i kontrolira protok informacija tijekom vremena (Slika 4.).



Slika 4. Primjer LSTM ćelije

Za izradu modela korišten je programski jezik Python 3, verzija 3.9.16. Modeli su kodirani u IDE-u (Integrated Development Environment) Spyder, verzija 5.4.3..

4. REZULTATI

Izrađene su dvije verzije modela. Za Model 1 ulazni podaci su dnevne oborine sa šest meteoroloških postaja te dnevni protoci s dvije uzvodne hidrološke postaje (Željeznica i Tuhovec). Korišteni su podaci za razdoblje od 1. siječnja 2010. - 31. prosinca 2020., a podijeljeni su na skupove podataka za trening (1. siječnja 2010. - 31. prosinca 2014.), validaciju (1. siječnja 2015. - 31. prosinca 2017.) i testiranje (1. siječnja 2018. - 31. prosinca 2020.). Model predviđa buduće protoke na hidrološkoj postaji Ludbreg.

Nakon izrade Modela 1 s osam ulaznih značajki, za usporedbu je napravljen Model 2 koji za ulazne podatke uzima samo oborine s istih postaja. Kako bi se pokušalo postići bolje rezultate s manjim brojem ulaznih podataka, tijekom učenja mreže neki hiperparametri su izmijenjeni (Tablica 1.), dok je arhitektura mreže ostala gotovo ista, s različitim brojem neurona u prvom LSTM sloju (Slika 5.).

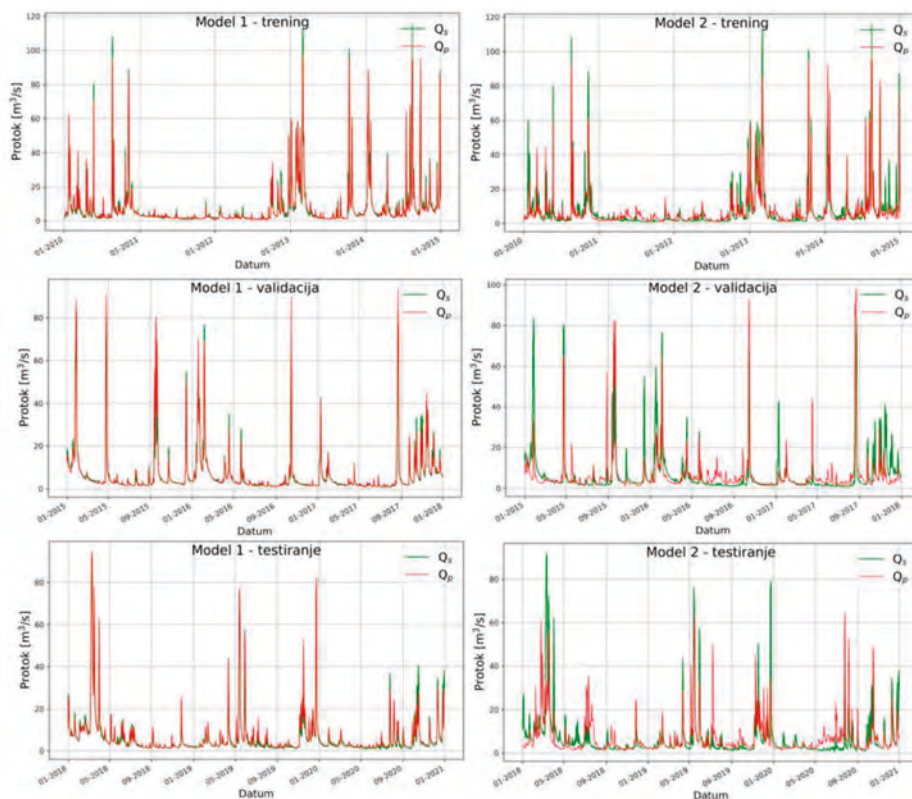
Tablica 1. Hiperparametri modela

Hiperparametar	Opis	Model 1	Model 2
n_steps_in	broj prethodnih dana koji se koristi za predviđanje	30	30
n_steps_out	broj dana u budućnosti za koje model predviđa protok	1	1
num_classes	broj izlaznih klasa (protok na jednoj postaji)	1	1
input_size	broj ulaznih značajki	8	6
hidden_size	broj značajki (neurona) u LSTM slojevima	14	12
num_layers	broj međusobno povezanih slojeva u nn.LSTM	2	2
n_epochs	broj epoha - iteracija kroz skup podataka tijekom obuke modela	600	600
learning_rate	veličina koraka tijekom svake iteracije procesa optimizacije	0,0005	0,0004



Slika 5. Arhitektura modela: prikaz slojeva i aktivacijskih funkcija

Rezultati rada modela na sva tri skupa podataka grafički su prikazani na hidrogramima (Slika 6.), a za kvantitativnu procjenu učinkovitosti modela korišteni su: Nash - Sutcliffe Efficiency (NSE), Kling - Gupta Efficiency (KGE) i Percent Bias (PBIAS) (Tablica 2.).



Slika 6. Hidrografi s modeliranim (Q_p) i stvarnim (Q_s) protocima za podatke za trening, validaciju i testiranje

Tablica 2. Mjere kvantitativne procjene modela

	Model 1			Model 2		
	Trening	Validacija	Testiranje	Trening	Validacija	Testiranje
KGE	0,975	0,950	0,938	0,875	0,706	0,600
PBIAS	- 0,248	2,609	5,930	- 0,621	- 1,137	8,403
NSE	0,984	0,968	0,976	0,824	0,406	0,143

5. RASPRAVA

Neuronske mreže široko su prihvaćene zbog svojeg principa rada, koji u određenim aspektima nadilazi ograničenja tradicionalnih modela.

Široku primjenu u hidrološkom modeliranju pronašle su povratne neuronske mreže, baš zbog činjenice da mogu učinkovito modelirati obrasce u vremenski ovisnim nizovima

podataka, kao što su odnosi oborina i protoka, uzimajući u obzir prošla (skrivena) stanja. U hidrologiji se danas uglavnom koristi LSTM tip povratne mreže, koji rješava određene probleme povratnih neuronskih mreža kod nizova podataka s dugoročnim vremenskim ovisnostima.

U radu je predstavljen hidrološki model baziran na LSTM povratnoj mreži, relativno jednostavne arhitekture, koji je pokazao vrlo dobru izvedbu, odnosno hvatanje vremenskih ovisnosti, obrazaca i varijabilnosti, na neviđenom skupu podataka. Kombinacija oborina i protoka s uzvodnih postaja pokazala se kao dobar odabir ulaznih parametara za model. Protoci su pomogli modelu da lakše uhvati bazni tok rijeke, dok su oborine utjecale na učinkovito hvatanje vršnih protoka. To je posebno vidljivo kod verzije modela koja je u izračun uzimala samo oborine, a kod kojeg ni kod prilagodbe hiperparametara nije postignuta dobra izvedba modela. Možemo pretpostaviti da bi se puno bolje rezultate moglo postići korištenjem, uz oborine, i dodatnih značajki koje imaju kontinuirano mjerene vrijednosti, primjerice evapotranspiracije ili razine podzemne vode.

Modeli bazirani na neuronskim mrežama po pitanju vrste ulaznih podataka prilično su fleksibilni, no važno je da između ulaznih podataka i ciljanih vrijednosti postoje značajne veze i obrasci koje model može uhvatiti te da je dostupna količina podataka dovoljna za učenje mreže.

Unatoč svojim prednostima, neuronske mreže također imaju i neka ograničenja. One su fleksibilne oko tipa ulaznih podataka, ali zato zahtijevaju robusan skup podataka. Dobivanje dugih i visokokvalitetnih skupova podataka u hidrologiji može biti vrlo teško, osobito za manje slivove ili područja s malim brojem mjernih postaja. Kod ograničenih skupova podataka mreže su sklone prekomjernom prilagođavanju, što umanjuje njihovu sposobnost generalizacije na neviđene skupove podataka. To su modeli s mnogo parametara, što ih može učiniti računalno skupima i zahtijevati značajne računalne resurse za obuku. Iako su LSTM mreže dizajnirane za hvatanje dugoročnih ovisnosti, još uvijek postoje ograničenja kod iznimno dugoročnih ovisnosti koje obuhvaćaju više godina. One, poput mnogih modela strojnog učenja, pretpostavljaju da je temeljna distribucija podataka stacionarna. U hidrologiji, gdje se klimatski obrasci i hidrološki procesi mogu mijenjati tijekom vremena, ova pretpostavka nije uvijek istinita.

Neuronske mreže, posebno LSTM, u svakom su slučaju moćan alat u hidrološkom modeliranju, ali hidrolozi koji ih koriste moraju biti svjesni njihovih ograničenja i kritički procijeniti je li ovakav pristup prikladan za određeni zadatak modela.

Pristup hidrološkom modeliranju prikazan u ovom radu pokazao se učinkovitim za rješavanje hidroloških zadataka, kao što je modeliranje protoka. Na temelju rezultata dobivenih modela, možemo pretpostaviti da bi se dodatan napredak mogao postići integracijom drugih relevantnih varijabli, izmjenom arhitekture mreže ili izradom hibridnih modela, koji kombiniraju povratne neuronske mreže s drugim metodama modeliranja.

ZAKLJUČAK

Informacije dobivene analizom ponašanja i kretanja vode kroz hidrološki ciklus važne su za dobrobit ljudske populacije i okoliša. Utjecaj hidroloških mjerenja i analiza nastavlja rasti s utjecajem klimatskih promjena i sve većim izazovima u upravljanju vodnim resursima. Bez sumnje, jedan od glavnih izazova u vodnom gospodarstvu je predvidjeti buduće ekstremne hidrološke događaje i na vrijeme se pripremiti na njih.

Hidrološko modeliranje omogućava simulaciju i predviđanje složenih procesa koji se odvijaju u hidrološkim sustavima. Stoga hidrološki modeli predstavljaju moćan alat koji pomaže u donošenju pravovremenih informiranih odluka o upravljanju vodnim resursima. Odabir vrste modela ovisi o ciljevima istraživanja, dostupnim podacima, računalnim resursima i karakteristikama hidrološkog sustava koji se modelira. U ovom radu predstavljen je hidrološki model sliva Bednje oborina-otjecanje baziran na mreži dugog kratkoročnog pamćenja, koja implementira specijalni tip arhitekture povratne neuronske mreže.

Ocjena izvedbe modela grafički i mjerama kvantitativne procjene pokazala je vrlo dobru izvedbu modela na skupovima podataka za trening, validaciju i testiranje. Pravilnom prethodnom obradom podataka, dizajnom arhitekture modela i optimalnom obukom napravljena je neuronska mreža koja učinkovito hvata vremenske varijacije i obrasce, korelaciju i varijabilnost promatranog protoka.

U ovom radu je pokazano da LSTM mreže imaju znatan potencijal u hvatanju vremenskih ovisnosti i kompleksnih obrazaca svojstvenih hidrološkim procesima. Svojom sposobnošću učenja iz vremenski ovisnih nizova podataka i prilagođavanja promjenjivim uvjetima, ovakvi modeli nude vrijedan alat za povećanje točnosti i mogućnosti predviđanja hidroloških modela. Unatoč tome, važno je naglasiti da ovaj pristup nije bez ograničenja. Kvaliteta i kvantiteta ulaznih podataka, izbor hiperparametara i generalizacija modela u različitim hidrološkim kontekstima ostaju područja koja zahtijevaju stalna istraživanja i usavršavanja.

Kako klimatske promjene nastavljaju utjecati na obrasce oborina i hidrološke sustave, robusni i prilagodljivi okviri modeliranja postaju sve bitniji, stoga se u sve većem broju istraživanja nastoji iskoristiti potencijal umjetne inteligencije. Daljnja istraživanja mogla bi uključiti hibridne modele koji kombiniraju neuronske mreže s drugim tehnikama strojnog učenja, kao i integraciju dodatnih varijabli okoline kako bi se poboljšala točnost predviđanja modela.

LITERATURA

- [1] Čanjevac, I., (2013): *Tipologija protočnih režima rijeka u Hrvatskoj*, Hrvatski geografski glasnik, 75 (1), str. 23-42
- [2] Davie, T., (2019): *Fundamentals of Hydrology*, London, Routledge, 306 str.
- [3] Dawson, C. W., Wilby, R. L., (2001): *Hydrological modelling using artificial neural networks*, Progress in Physical Geography: Earth and Environment, 25 (1), str. 80-108
- [4] Devia, G. K., Ganasri, B. P., Dwarakish, G. S., (2015): *A Review on Hydrological Models*, Aquatic Procedia, 4, str. 1.001-7

- [5] Ivandić, N., Kunst, I., Telišman-Košuta, N., Marković, I., (2015): *Strategija razvoja turizma Varaždinske županije 2015. - 2025.*, Institut za turizam, Zagreb
- [6] Kos, Ž., Đurin, B., Dogančić, D., Kranjčić, N., (2021): *Hydro - energy suitability of rivers regarding their hydrological and hydrogeological characteristics*, Water, 13 (13), 1.777
- [7] Leskovar, K., Mrakužić, P., Meaški, H., (2021): *Evaluation of remotely sensed precipitation product in a hydrological model of the Bednja watershed*, Građevinar, 73 (4), str. 335-48
- [8] Lillicrap, T. P., Santoro, A., (2019): *Backpropagation through time and the brain*, Current Opinion in Neurobiology, 55, str. 82-9
- [9] Medsker, L., Jain. L. C., (1999): *Recurrent Neural Networks Design and Applications*, CRC Press LLC, Boca Raton, 416 str.
- [10] Nielson, M. A., (2018): *Neural Networks and Deep Learning*, Determination Press, 224. str.
- [11] Petrić, H., (2011): *O nekim nasljeima u porječju rijeke Bednje tijekom srednjeg i početkom ranog novog vijeka*, Kaj, 94 (5), str. 57-68
- [12] Počakal, M., (1982): *Hidrografske veličine porječja Bednje*, Hrvatski geografski glasnik, 44 (1), str. 85-10
- [13] Shaw, E. M., (1994): *Hydrology in practice*, Chapman & Hall, London, 613 str.
- [14] Šimunić, A., Pikija, M., Hećimović, I., (1978): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 s tumačem - list Varaždin*, Geološki zavod Zagreb, Zagreb
- [15] Yu, Y., Si, X., Hu, C., Zhang, J., (2019): *A Review of Recurrent Neural Networks: LSTM Cells and Network Architectures*, Neural Computation, 31 (7), str. 1.235-70

AUTORI

univ. bacc. ing. amb. Dora Varjačić ^a

doc. dr. sc. Dijana Oskoruš ^a

dr. sc. Karlo Leskovar ^a

^a Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, Varaždin, 42000, Hrvatska, dora.varjadic@gfv.unizg.hr, dijana.oskorus@gfv.unizg.hr, karlo.leskovar@gfv.unizg.hr



R 1.12.

IZRAČUN PRONOSA NANOSA U RIJECI DRAVI

Tea Kos, Dijana Oskoruš, Karlo Leskovar

SAŽETAK: Rijeka Drava svojim tokom kroz srednju i jugoistočnu Europu prenosi velike količine suspendiranog i koritoformirajućeg (vučenog) nanosa. U ovom radu su analizirani podaci s četiri hidrološke postaje na rijeci Dravi, a to su: Varaždin, Donja Dubrava, Botovo i Terezino Polje. Prikazano je višegodišnje kretanje vodostaja, protoka i pronosa suspendiranog nanosa te njihova povezanost s klimatskim i antropogenim čimbenicima. Prikazane su metode za izračun pronosa nanosa na primjeru rijeke Drave, a metode su: izračun koncentracije suspendiranog nanosa na temelju diskretnih uzoraka vode, izračun srednje profilske koncentracije i određivanje koeficijenta korekcije za dnevne diskretne uzorke, izračun dnevnog, mjesečnog i godišnjeg pronosa suspendiranog nanosa za mjeru postaju Botovo, trendovi promjena u režimu pronosa suspendiranog nanosa u zavisnosti od antropogenih i klimatskih utjecaja te opis metoda proračuna vučenog nanosa primjerom izračuna po Einstein - Brown metodi.

KLJUČNE RIJEČI: Suspendirani nanos, Koritoformirajući (vučeni) nanos, Koncentracija i pronos nanosa

CALCULATING SEDIMENT TRANSPORT IN THE DRAVA RIVER

ABSTRACT: The Drava River transports large amounts of suspended sediment and bed load in its course through Central and South - Eastern Europe. This paper analyses data from four hydrological stations on the Drava River (Varaždin, Donja Dubrava, Botovo and Terezino Polje). A multi- year changes in water levels, discharge and transport of suspended sediment and their connections to climate and anthropogenic factors are presented. The methods for calculating suspended sediment transport, shown on the example of the Drava River, are the following: the calculation of suspended sediment concentrations using discrete water samples; the calculation of the average profile concentration with determining the correction coefficient for daily discrete samples; the calculation of daily, monthly and annual suspended sediment transport for the hydrological station Botovo; trends of changes in the regime of suspended sediment transport depending on anthropogenic and climate impacts; and a description of the calculation methods for bed load transport, including a calculation example according to the Einstein - Brown method.

KEYWORDS: Suspended sediment, Bed load, Sediment concentration and transport

1. UVOD

Rijeka Drava je po hidrološkom režimu tipična glacijalna rijeka s najvišim vodostajima koji se javljaju krajem proljeća i početkom ljeta, a najnižim tijekom zimskog razdoblja. Svojim tokom kroz srednju i jugoistočnu Europu Drava prenosi velike količine suspendiranog i koritoformirajućeg (vučenog) nanosa. Tijekom povijesti na rijeci Dravi su izgrađeni mnogi hidrotehnički objekti koji su uzrokovali promjene u njezinom hidrološkom režimu. U radu su analizirani podaci s hidroloških postaja na Dravi: Varaždin, Donja Dubrava, Botovo i Terezino Polje, Tablica 1. Ove postaje su dio državne hidrološke mreže i većinom pripadaju skupini najstarijih hidroloških postaja koje su uspostavljene još za vrijeme Austro - Ugarske Monarhije. Odabrane su stoga što se na tim postajama tijekom nekog vremenskog razdoblja mjerila koncentracija suspendiranog nanosa i računao njegov pronos.

Tablica 1. Hidrološke postaje na Dravi

Hidrološka postaja	Početak rada	Vrste mjerenja
Varaždin	1.1.1821.	H,Q,T,K,P
Donja Dubrava	28.12.1977.	H,Q,T,K,P
Botovo	1.1.1873.	H,Q,T,K,P
Terezino Polje	1.1.1872.	H,Q,T,K,P

H...vodostaj, Q...protok, T...temperatura vode,

K...koncentracija suspendiranog nanosa, P...pronos suspendiranog nanosa

1.1. Vodostaj

Maksimalni, minimalni i srednji (prosječni) godišnji vodostaji prikazani su za četiri hidrološke mjerne postaje: Varaždin (Slika 1.), Donja Dubrava (Slika 2.), Botovo (Slika 3.) i Terezino Polje (Slika 4.).

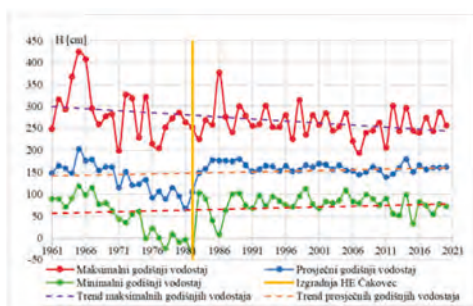
Na postaji Varaždin maksimalni godišnji vodostaji imaju negativni trend, dok minimalni i prosječni pokazuju pozitivni trend. To se može objasniti utjecajem uzvodnih akumulacija i radom hidroelektrana u Sloveniji koje smanjuju odnosno zadržavaju vodu u akumulacijama. Na smanjenje maksimalnih godišnjih vodostaja utječu i klimatske promjene, odnosno smanjenje prosječnih godišnjih oborina na slivu, sve manje količine snijega i kiše na uzvodnim dijelovima sliva u Austriji i Sloveniji. Na prvom grafu (Slika 1.) vidljivo je da nakon 1982. godine (žuta linija) vodostaji postaju ujednačeniji što je rezultat izgradnje akumulacije Čakovec.

Na postaji Donja Dubrava zabilježeni su negativni trendovi maksimalnih, minimalnih i prosječnih godišnjih vodostaja. Razlog tome je što se voda zadržava u uzvodnim akumulacijama HE Varaždin, HE Čakovec i HE Donja Dubrava te se nizvodno kroz korito Drave ispušta samo kontrolirani protok, većinom biološki minimum, te tako režim vodostaja tijekom godine ovisi o tim ispuštanjima. Značajan utjecaj ima izgradnja HE Donja Dubrava 1989. godine čime vodostaji postaju ujednačeniji što prikazuje Slika 2. Također dolazi do procesa produbljivanja riječnog korita na cijelom donjem dijelu rijeke Drave nizvodno od ušća rijeke Mure kod Legrada. Radi se o općem i dugotrajnom procesu, koji

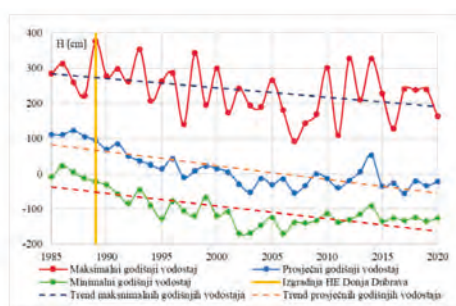
je većinom uzrokovan izgradnjom akumulacija i brana koje zadržavaju i sprječavaju pro-nos nanosa nizvodno (Bonacci i Oskoruš, 2010).

Velike oscilacije vodostaja tijekom dana vezane su uz režim rada hidroelektrana na Dravi i mogu imati značajnije negativne posljedice na ekološki sustav, upravljanje vodama, korištenje voda, režim nanosa i posebno na kvalitetu vode (Tadić i Brleković, 2018).

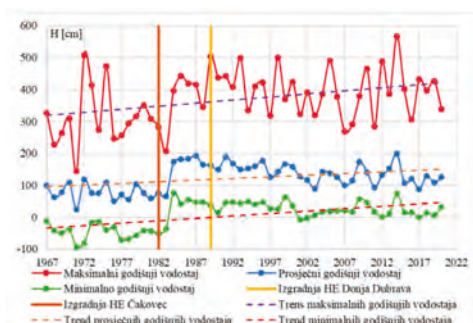
Na mjernoj postaji Botovo, javljaju se pozitivni trendovi maksimalnih, prosječnih i minimalnih godišnjih vodostaja. Vodostaji nakon 1989. godine su ujednačeniji zbog izgradnje HE Donja Dubrava što prikazuje Slika 3., iako promjene u vodostajima se događaju već i oko 1982. nakon izgradnje HE Čakovec. Na mjernoj postaji Terezino Polje (Slika 4.) svi trendovi vodostaja su negativni, a utjecaj rada hidroelektrana zbog udaljenosti se ne osjeća u tako velikoj mjeri kao na Botovu.



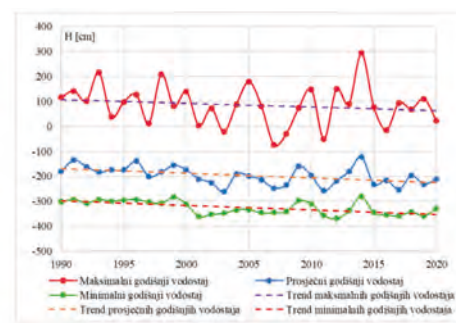
Slika 1. Maksimalni, prosječni i minimalni godišnji vodostaji na mjernoj postaji Varaždin u razdoblju od 1961. do 2020. sa trendovima



Slika 2. Maksimalni, prosječni i minimalni godišnji vodostaji na mjernoj postaji Donja Dubrava u razdoblju od 1985. do 2020. sa trendovima



Slika 3. Maksimalni, prosječni i minimalni godišnji vodostaji na mjernoj postaji Botovo u razdoblju od 1967. do 2020. sa trendovima

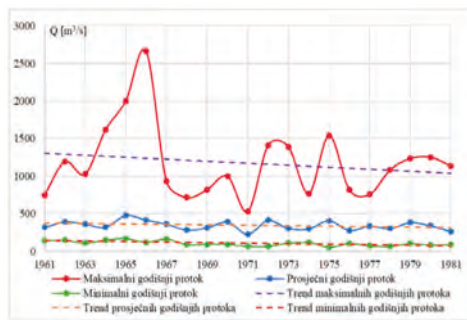


Slika 4. Maksimalni, prosječni i minimalni godišnji vodostaji na mjernoj postaji Terezino Polje u razdoblju od 1990. do 2020. sa trendovima

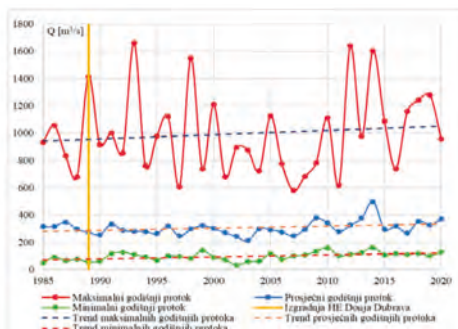
1.2. Protok

Analiza protoka provedena je za četiri hidrološke postaje: Varaždin (Slika 5.), Donja Dubrava (Slika 6.), Botovo (Slika 7.) i Terezino Polje (Slika 8.).

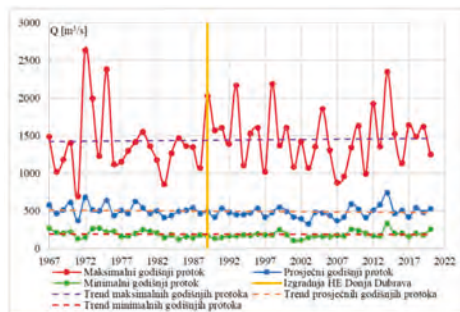
Na postaji Varaždin se protok mjerio do 1981. godine kada je izgrađena akumulacija za HE Čakovec, a nakon toga protoci se zbog uspora više ne mjere (Tadić i Brleković, 2018). Na mjernim postajama Varaždin i Botovo uočava se smanjenje srednjih (prosječnih) godišnjih protoka, dok na mjernim postajama Donja Dubrava i Terezino Polje vidi se blagi porast srednjih godišnjih protoka. Promjene u protočnom režimu, ponajprije kod srednjih i minimalnih protoka na svim hidrološkim postajama mogu se povezati s početkom rada triju akumulacija velikih hrvatskih HE i posljednje slovenske HE Zlatoličje (1968. godine), koja se nalazi uzvodno od HE Varaždin. Isparavanje iz akumulacija u Hrvatskoj u prosjeku iznosi $1\text{ m}^3/\text{s}$, a gubici vode iz odvodnih kanala u prosjeku su manji od $1\text{ m}^3/\text{s}$ (Bonacci i Oskoruš, 2010). Ne smije se zanemariti ni utjecaj klimatskih promjena, pogotovo utjecaj snijega i njegov doprinos ukupnom protoku. Naime, od ranih 1970 - ih broj dana sa snježnim pokrivačem kao i njegova debljina na uzvodnom dijelu sliva koji pripada Austriji i Sloveniji, ali i u kontinentalnoj Hrvatskoj, je znatno smanjen (Bonacci, Brleković i Tadić, 2012).



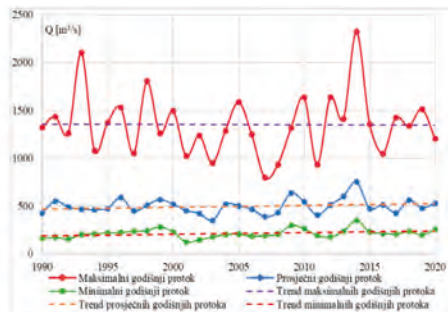
Slika 5. Grafički prikaz maksimalnih, prosječnih i minimalnih godišnjih protoka Q [m^3/s] za mjernu postaju Varaždin u razdoblju od 1961. do 1981. s trendovima



Slika 6. Grafički prikaz maksimalnih, prosječnih i minimalnih godišnjih protoka Q [m^3/s] za mjernu postaju Donja Dubrava u razdoblju od 1985. do 2020. s trendovima



Slika 7. Grafički prikaz maksimalnih, prosječnih i minimalnih godišnjih protoka Q [m^3/s] na mjernoj postaji Botovo u razdoblju od 1967. do 2020. sa trendovima



Slika 8. Grafički prikaz maksimalnih, prosječnih i minimalnih godišnjih protoka Q [m^3/s] na mjernoj postaji Terezino Polje u razdoblju od 1990. do 2020. sa trendovima

2. AKTUALNE METODE ANALIZE PRONOSA NANOSA U RIJEKAMA

U Republici Hrvatskoj monitoring riječnog nanosa provodi Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), Sektor za hidrologiju. Prati se pronos suspendiranog nanosa, granulometrijski sastav suspendiranog nanosa i nanosa s dna na pojedinim hidrološkim postajama (Kovačićek i Oskoruš, 2020). Do 1990 - tih godina, na nekim kritičnim lokacijama vršila su se i povremena mjerenja vučenog nanosa koji se kreće po dnu, ali se ta mjerenja trenutno više ne provode.

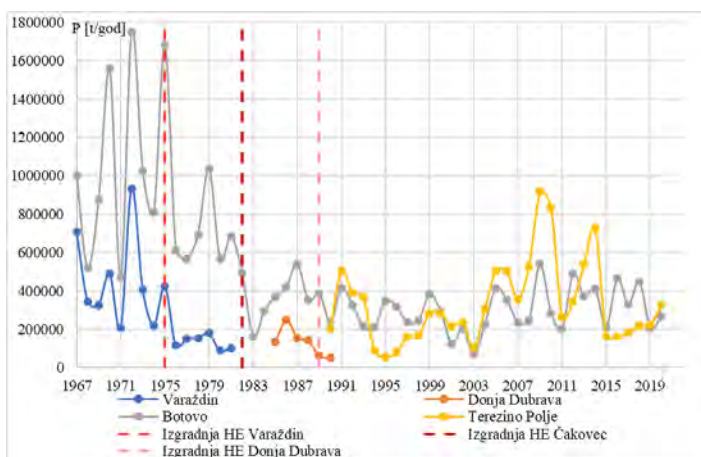
Trenutno aktivne metode analize pronosa suspendiranog nanosa su:

1. Izračun koncentracije suspendiranog nanosa na temelju diskretnih uzoraka vode ili na temelju kontinuiranog mjerenja mutnoće,
2. Izračun srednje profilske koncentracije i određivanje koeficijenta korekcije za dnevne diskretne uzorke,
3. Izračun dnevnog, mjesečnog i godišnjeg pronosa suspendiranog nanosa za mjernu postaju,
4. Krivulje pronosa suspendiranog nanosa na mjernim postajama na Dravi,
5. Trendovi promjena u režimu pronosa nanosa u zavisnosti od antropogenih i klimatskih utjecaja.

2.1. Trendovi promjena u režimu pronosa nanosa u zavisnosti od antropogenih i klimatskih utjecaja

Slika 9. pokazuje kretanje godišnjeg pronosa nanosa na mjernim postajama Varaždin, Donja Dubrava, Botovo i Terezino Polje u razdoblju 1967. do 2020. godine. Na grafičkom prikazu je vidljivo da hidrološka stanica Drava - Botovo bilježi značajan pad pronosa suspendiranog nanosa nakon izgradnje i rada HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava. Izgradnjom HE Varaždin 1975. godine bilježi se značajan pad godišnjeg pronosa nanosa na mjernim postajama Varaždin i Botovo. Drugi veći pad pronosa nanosa se dogodio

nakon 1982. godine nakon izgradnje HE Čakovec. Pronos nanosa u posljednjih 50 godina na mjernoj postaji Botovo smanjen je na 30 % nekadašnjih količina (Lubura - Matković i Vidaković - Šutić, 2020.)



Slika 9. Godišnji prinos nanosa na mjernim postajama Varaždin, Donja Dubrava, Botovo i Terezino Polje u razdoblju 1967. do 2020.

Smanjenje pronosa nanosa najbolje prikazuje graf (Slika 9.) za mjernu postaju Botovo (siva boja) jer sadrži najdulje nizove podataka. Vidljivo je da je prije izgradnja hidroelektrana maksimalni godišnji prinos suspendiranog nanosa na Botovu bio skoro 1.800.000 t/god, nakon izgradnje HE Varaždin godišnji prinos suspendiranog nanosa se smanjio na 600.000 do 1.000.000 t/god, a nakon izgradnje HE Čakovec, i nekoliko godina kasnije HE Donja Dubrava, prosječni godišnji prinos se sveo na svega 300.000 t/god. Slične vrijednosti godišnjeg pronosa suspendiranog nanosa su izmjerene i na HP Drava - Terezino Polje u razdoblju 1990. - 2020.

2.2. Empirijske metode proračuna vučenog nanosa

Vučeni nanos nastaje u gornjem dijelu sliva rijeke Drave, u brdsko - alpskom dijelu gdje se erozijskim procesima formira nanos koji može mirovati ili biti pokretan. U nedostatku rezultata novijih mjerenja vučenog nanosa u hidrotehničkoj praksi se često koriste razne empirijske metode, a u ovom radu je prikazana metoda po Einstein - Brown formuli.

2.2.1. Izračun pronosa vučenog nanosa po Einstein - Brown formuli za mjernu postaju Drava - Botovo

Einstein - Brown formula za izračun pronosa nanosa glasi:

$$\Phi_B = 40 \cdot K \cdot \theta'^3 \quad (1)$$

gdje je:

Φ_B - prinos vučenog nanosa (bezdimenzijski koeficijent) (2)

$$\Phi_B = \frac{q_B}{d_{50} \sqrt{(s-1)gd_{50}}} \quad (2)$$

q_B - pronos vučenog nanosa [kg/s·m]

s - omjer gustoće sedimenta (ρ_s) i gustoće vode (ρ):

$$s = \frac{\rho_s}{\rho} \quad (3)$$

K - Einstein - ov koeficijent (4)

$$K = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36 \cdot v^2}{(s-1)gd_{50}^3}} - \sqrt{\frac{36 \cdot v^2}{(s-1)gd_{50}^3}} \quad (4)$$

g - ubrzanje sile teže $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

d_{50} - promjera zrna nanosa od kojeg 50 % mase uzorka ima zrna manjeg promjera (iščitava se iz granulometrijske krivulje)

v - kinematička viskoznost vode

θ' - efektivni Shied - ov parametar (5)

$$\theta' = \frac{\frac{\tau_B'}{\rho}}{(s-1)gd_{50}} \quad (5)$$

τ_B' - efektivno posmično naprežanje (6)

$$\tau_B' = \frac{1}{2} \rho \frac{0,06}{\left(\log \frac{12h}{2,5d_{50}}\right)^2} u^2 \quad (6)$$

gdje je h - dubina korita, u - brzina toka

Podaci koji su korišteni za izračun pronosa vučenog nanosa prema Einstein - Brown formuli za mjernu postaju Drava - Botovo su preuzeti iz rezultata mjerenja brzina i protoka 10. srpnja 2020. U formuli su korištene sljedeće vrijednosti:

- Gustoća vode $\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$
- Gustoća nanosa $\rho_s = 1300 \text{ kg/m}^3$
- Dubina korita $h = 2,32 \text{ m}$
- Promjera zrna nanosa od kojeg 50 % mase uzorka ima zrna manjeg promjera (iščitava se iz granulometrijske krivulje na dan 6.11.2020.) $d_{50} = 25 \text{ mm} = 0,025 \text{ m}$
- Kinematička viskoznost vode $v = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- Širina korita na mjernoj postaji Botovo je 135 m
- Brzina toka $u = 1,43 \text{ m/s}$.

Prvo se izračuna efektivno posmično naprežanje (7) prema formuli (6).

$$\tau_B' = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot \frac{0,06}{\left(\log\left(\frac{12 \cdot 2,32}{2,5 \cdot 0,025}\right)\right)^2} \cdot 1,43^2 = 8,74 \text{ [N/m}^2\text{]} \quad (7)$$

Pomoću efektivnog posmičnog napreznja može se izračunati efektivni Shields - ov parametar (8) prema formuli (5).

$$\theta' = \frac{\frac{8,74}{1000}}{\left(\frac{1300}{1000} - 1\right) \cdot 9,81 \cdot 0,025} = 0,119 \quad (8)$$

Sljedeći korak je računanje Einsteinovog koeficijenta (9) prema formuli (4).

$$K = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36 \cdot (10^{-6})^2}{\left(\frac{1300}{1000} - 1\right) \cdot 9,81 \cdot 0,025^3}} - \sqrt{\frac{36 \cdot (10^{-6})^2}{\left(\frac{1300}{1000} - 1\right) \cdot 9,81 \cdot 0,025^3}} \quad (9)$$

$$K = 0,8156$$

Izračunati su svi parametri za pronos nanosa prema Einstein - Brown - ovoj formuli (1) i može se izračunati bezdimenzijska veličina pronosa vučenog nanosa (10).

$$\Phi_B = 40 \cdot 0,8156 \cdot (0,119)^3 = 0,055 \quad (10)$$

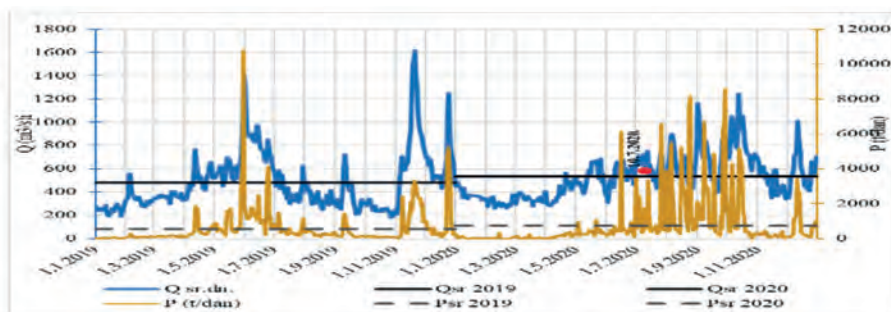
Da se dobije količina vučenog nanosa računa se q_B prema formuli (2).

$$q_B = \Phi_B \cdot d \sqrt{(s-1) \cdot g \cdot d} \quad (11)$$

$$q_B = 0,055 \cdot 0,02955 \sqrt{(1,3-1) \cdot 9,81 \cdot 0,02955} = 4,79 \cdot 10^{-4} \text{ [kg/s} \cdot \text{m]} \quad (12)$$

Godišnji pronos vučenog nanosa za mjernu postaju Botovo u 2020. godini prema Einstein - Brown - ovoj formuli je oko 2.040 t/god, prema izračunu (13).

$$4,79 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{135}{1000} \cdot 31536000 = 2039,65 \text{ t/god} \quad (13)$$



Slika 10. Pregled dnevnih protoka i dnevnih pronosa suspendiranog nanosa za HP Botovo u razdoblju 2019. - 2020.

Kako bismo dobili što realniju vrijednost pronosa suspendiranog nanosa po cijelom protočnom presjeku Drave u Botovu (P_{prof}), potrebno je godišnji pronos (P_{pov}), dobiven

temeljem koncentracije iz diskretnog uzorka vode uz obalu, pomnožiti sa koeficijentom korekcije $K = 1,52$. Ovaj koeficijent korekcije je definiran na osnovi dugogodišnjeg niza paralelnih mjerenja koncentracija uz obalu i srednje profilske koncentracije, formula (14).

$$(P_{\text{prof}}) = P_{\text{pov}} \cdot K \quad (14)$$

Iz ovog slijedi da je odnos godišnjeg pronosa suspendiranog nanosa u 2020. godini (411.296,8 t) prema izračunatom pronosu vučenog nanosa empirijskom metodom (2.040 t) u omjeru 99,5 % prema 0,5 % vučenog nanosa. Međutim, treba naglasiti da je pronos vučenog nanosa u ovom slučaju računat prema podacima dobivenim pri profilskom mjerenju na dan 10. srpnja 2020. Vrijednosti protoka tada su bile 467,9 m³/s, a srednje brzine toka 1,43 m/s. Vrijednosti pronosa vučenog nanosa izračunatog prikazanom empirijskom metodom bile bi znatno veće da su, kojim slučajem, bili dostupni podaci mjerenja pri većim protocima ($Q \geq 1.000 \text{ m}^3/\text{s}$) jer se pri većim brzinama toka pokreće znatno veća količina nanosa po dnu korita rijeke (Slika 10.).

ZAKLJUČAK

Pronos suspendiranog i vučenog nanosa kao i njihov odnos u ukupnoj bilanci vrlo je važno kontinuirano pratiti kako bi se dobila spoznaja o trenutnoj dinamici pronosa nanosa te kako bi se u konačnici moglo optimalno upravljati nanosom u okviru vodnog područja prema Okvirnoj direktivi o vodama. Monitoring nanosa u Republici Hrvatskoj zahtijeva modernizaciju i ulaganje u razvoj novih poboljšanih metoda mjerenja i analize izmjerenih podataka.

LITERATURA

- [1] Bonacci, O, Brleković, T, Tadić, L, (2012): *Hidrološki aspekt pojave snijega u Hrvatskoj*, Hrvatske vode, (20/81), str. 117-130
- [2] Bonacci, O, Oskoruš, D, (2010): *The changes in the lower Drava River water level, discharge and suspended sediment regime*, Environ Earth Sci, (59/8), str. 1.661-1.670
- [3] Kovačiček, N, Oskoruš, D, (2020): *Monitoring nanosa u Republici Hrvatskoj, Nanos u vodnim sustavima - Stanje i trendovi* (Oskoruš, D, Rubinić, J), Varaždin, str.109-118
- [4] Lubura - Matković, T, Vidaković - Šutić, R, (2020): *Bilanca riječnog nanosa na Savi i Dravi kao dio projekta Danube sediment, Nanos u vodnim sustavima - Stanje i trendovi* (Oskoruš, D, Rubinić, J), Varaždin, str. 129-142
- [5] Schwarz, U, (2018): *Hydromorphology of the lower Drava*, Springer International Publishing AG, str. 66-77
- [6] Tadić, L, Brleković, T, (2018): *Hydrological characteristics of the Drava river in Croatia*, Springer International Publishing AG, str. 79-90
- [7] Žugaj, R, (2015): *Hidrologija*, Rudarsko - geološko - naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

AUTORI

Tea Kos, univ. bacc. ing. amb. ^a

doc. dr. sc. Dijana Oskoruš ^a

dr. sc. Karlo Leskovar ^a

^a Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Hrvatska, teaks703@gmail.com (studentica, Matije Gupca 11, Sračinec, 42209), karlo.leskovar@gfv.unizg.hr, dijana.oskorus@gfv.unizg.hr



R 1.13.

MODERNIZACIJA MONITORINGA PRONOSA SUSPENDIRANOG NANOSA NA PRIMJERU HIDROLOŠKE POSTAJE SAVA - SLAVONSKI BROD

**Dijana Oskoruš, Sanja Kapelj, Anita Ptiček Siročić,
Saša Zavrtnik, Danko Biondić**

SAŽETAK: Intenzivne oborine imaju za posljedicu snažnu eroziju na slivu i donos velike količine finog nanosa u korita rijeka koji se nizvodno pronosi vodotokom u obliku suspendiranog nanosa (eng. wash load). Dodatno, sam proces protjecanja utječe na pronos nanosa s dna (koritoformirajućeg) koji se usitnjava i pokreće pri određenim hidrodinamičkim uvjetima (eng. bed load). Osim kvantitativne vrijednosti, fine suspendirane čestice pogodan su medij za transport onečišćujućih i opasnih tvari koje se ispiru sa sliva ili dolaze u vodotoke putem kanalizacijskih ispusta te mogu vezati na sebe teške metale i spojeve opasne po zdravlje ljudi te opstanak vodenog bilja i životinjskih vrsta. U radu je dana kvantitativna analiza koncentracija i pronosa suspendiranog nanosa na hidrološkoj postaji Sava, Slavonski Brod, gdje se koncentracija suspendiranog nanosa mjeri od 1960. godine na osnovi dnevnog uzorkovanja vode uz obalu. Odabrani su uzorci suspendirane tvari za vrijeme vršnih protoka u 2022. godini, te je prikazan njihov kemijski sastav. Također je prikazana moguća modernizacija monitoringa suspendiranog nanosa korištenjem optičkih senzora za kontinuirano mjerenje mutnoće u vodotoku.

KLJUČNE RIJEČI: Suspendirani nanos, Modernizacija monitoringa, Pronos onečišćenja

MODERNISATION OF SEDIMENT TRANSPORT MONITORING - EXAMPLE OF HYDROLOGICAL STATION SAVA - SLAVONSKI BROD

ABSTRACT: Intense rainfall causes strong erosion in river basins and large amounts of fine sediment in riverbeds, which is then carried downstream in the form of wash load. In addition, the flow process itself affects bed load transfer by crushing and transporting it under certain hydrodynamic conditions. These fine suspended particles are a suitable medium for transporting pollutants and dangerous substances draining from the basin or entering waterways through sewage outlets. They can bind heavy metals and compounds dangerous to human health and the survival of aquatic plants and animal species. This paper presents a quantitative analysis of suspended sediment concentrations and transport at the hydrological station Sava Slavonski Brod, where these concentrations have been measured since 1960 by means of daily water sampling along the river banks. Suspend-

ed sediment samples during peak discharges in 2022 were selected and their chemical composition was presented. In addition, a possible modernisation of suspended sediment monitoring using optical sensors for continuous measurement of turbidity in watercourses was also presented.

KEYWORDS: Suspended sediment, Monitoring modernisation, Pollution transfer

1. UVOD

Ubrzana i često neplanirana urbanizacija i industrijalizacija utječu na stanje vodnih resursa, koji se uglavnom koriste kao lokacije za ispušt kanalizacione te za odlaganje industrijskog, komunalnog i tehnološkog otpada. Većina voda sadrži vrlo niske prirodne koncentracije otopljenih metala te stoga svako onečišćenje ugrožava prirodnu ravnotežu vodenog sustava koji uključuje sediment i žive organizme. Metali su prisutni u vodi, sedimentima i bioti u različitim fizičko-kemijskim oblicima, nisu biorazgradivi pa se koncentriraju i pronose sedimentima i konačno talože u vodenim organizmima.

Okvirna direktiva o vodama (2008/105/EC) kao i Direktiva o standardima kvalitete okoliša (EQS, 2000/60/EC) postale su temeljni dokumenti u sferi upravljanja vodama u zemljama Europske unije te se monitoringom nastoji postići dobro ekološko i kemijsko stanje na razini vodnih tijela. U Okvirnoj direktivi o vodama transport sedimenta je posebno spomenut u normativnim definicijama koje se primjenjuju na ocjenu stanja hidromorfoloških elemenata kao što su: hidrološki režim, kontinuitet riječnog toka, morfološko stanje (OWD Dodatak V). Iz tog je razloga osmišljena politika i strategija upravljanja i zaštite vodnih resursa prema kojoj se površinske vode podvrgavaju monitoringu. U okviru nacionalnog programa monitoringa prate se osnovni fizikalno-kemijski pokazatelji (temperatura, pH-vrijednost, boja, mutnoća, ukupne otopljene tvari, BPK₅, KPK, ...), pokazatelji koji ukazuju na organsko onečišćenje, hranjive tvari, metale i različita organska onečišćiva. U radu je dana kvantitativna analiza suspendiranog nanaša na hidrološkoj postaji Sava, Slavonski Brod, vrste i koncentracije onečišćujućih tvari te korelaciju dobivenih koncentracija s vrijednostima protoka.

2. PREDMET I METODE ISTRAŽIVANJA

Hidrološka postaja Sava, Slavonski Brod osnovana je 1855. godine i bila je uključena u Austro - Ugarsku državnu mrežu hidroloških postaja. Podaci o vodostajima iz tog vremena objavljuvani su u Hidrološkim godišnjacima i još i danas postoje u arhivu austrijske hidrološke službe u Beču. Od 1900. godine podaci su pohranjeni u nacionalnoj bazi hidroloških podataka *HIS2000* koju ažurira Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ). Vodostaji su se sve do 1961. očitavali s vodokazne letve koja je bila postavljena 378,1 km od ušća u Dunav, na lijevoj obali Save, kod ušća Mrsunje, neposredno uzvodno od cestovno - željezničkog mosta. Kota nule vodokaza iznosila je „0“ = 81,80 m n.m. Godine 1974. bio je registriran do tada maksimalni vodostaj od 882 cm (30. listopada 1974.). Međutim, 18. svibnja 2014. vodostaj Save u Slavonskom Brodu je iznosio 939 cm i premašio sve do tada zabilježene povijesne rekorde te je postao apsolutni maksimum zabilježen na ovoj hidrološkoj postaji (Slika 1 i 2).

Dnevni protoci se objavljuju od 1926. godine, s prekidom u razdoblju 1994. do 2003. godine. Temperatura vode, s manjim prekidima, mjeri se od 1956. godine. Od 1960. godine

neprekidno se mjeri koncentracija suspendiranog nanosa na osnovi dnevnog uzorkovanja vode i to standardnom filtracijskom metodom, nakon čega se provodi laboratorijska obrada uzoraka, kako bi se odredile dnevne koncentracije i pronos suspendiranog nanosa u rijeci Savi. U Tablici 1 dani su podaci o razdobljima mjerenja i apsolutnim ekstremnim vrijednostima pojedinih hidroloških veličina.



Slika 1. Monitoring suspendiranog nanosa u Republici Hrvatskoj i položaj mjerne postaje Sava, Slavonski Brod (3098) (izvor: DHMZ)

Tablica 1. Podaci o hidrološkim veličinama i razdobljima mjerenja na HP Sava, Slavonski Brod

VRSTA MJERENJA	RAZDOBLJE	EKSTREMI	
		MIN.	MAX.
VODOSTAJ (cm)	1900. - 2023.	31.8.2003. -63	18.5.2014. 939
PROTOK (m ³ /s)	1926. - 2023.	16.9.1950. 147,7	18.5.2014. 3493
TEMPERATURA (°C)	1956. - 2023.	5.2.1956. 0,0	12.8.1994. 29,0
KONCENTRACIJA susp. nanosa (g/m ³)	1960. - 2023.	14.2.1973. 0,106	25.6.1964. 747,0
PRONOS susp. nanosa (t/dan)	1960. - 2023.	2.10.2009. 2,673	22.2.1969. 104873

2.1 Dosadašnja modernizacija hidrološke postaje Sava, Slavonski Brod

U sklopu projekta pod pokroviteljstvom Međunarodne komisije za sliv rijeke Save pod nazivom „Towards Practical Guidance for Sustainable Sediment Management using the Sava River Basin as a Showcase - Establishment of the Sediment Monitoring System for the Sava River Basin“, 2015. godine, odabrane su dvije postaje na Savi: Slavonski Brod (HR) i Sremska Mitrovica (RS). Činjenica što se u Slavonskom Brodu već 63 godine neprekidno mjere dnevne koncentracije suspendiranog nanosa, poslužila je za odabir ove postaje u Hrvatskoj kao pilot područje za uspostavu nadzornog mjesta s automatskim senzorima zamućenja.

Nakon radova na uređenju šetnice i obaloutvrde 2020. godine, Hrvatske vode (HV) su u vodokaznom profilu izgradile stepenice, uz koje je postavljen novi kosi vodokaz i uređena nova kućica za mjernu opremu (Slika 2 i 3). Iste te godine je postavljena mjerna oprema i započela su kontinuirana mjerenja korištenjem optičke sonde za mjerenje mutnoće (Slika 3 i 4). Solitax senzor zamućenosti / suspendiranih krutih tvari (*Ts-line sensor*) s dvostrukom optikom i dodanim detektorom povratnog signala (*backscattera*) postavljen je na lijevoj obali rijeke Save, na dubini od 10 m (Slika 3 i 4). Ovaj senzor mjeri zamućenost ili suspendirane krute tvari u rasponu od: mutnoća 0,001 - 4000 NTU, suspendirane krute tvari 0,001 - 50 g/l. Princip rada sastoji se od:

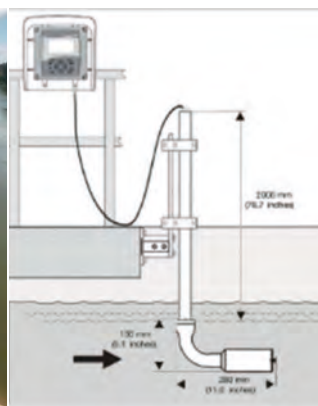
- dvostruke infracrvene svjetlosne zrake - LED izvor svjetlosti prenosi svjetlost na 45° prema senzoru,
- nefelometrijski fotoreceptori - detektiraju svjetlost na 90° do prenesenog svjetlosnog snopa,
- Backscatter fotoreceptora - detektira svjetlost na 140° do prenesenog svjetlosnog snopa za mjerenje suspendirane krute tvari u jako opterećenim tokovima uzoraka,
- brisač za samočišćenje.



Slika 2. Obnovljena postaja i oznaka



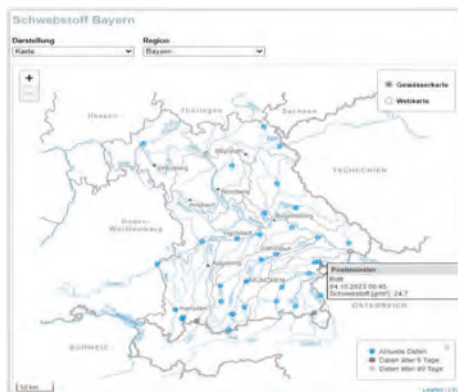
Sl. 3 Lokacija optičke sonde



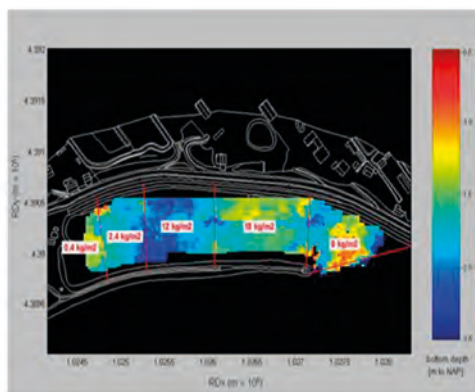
Sl.4 Shematski prikaz mjerne opreme $H_{aps.max}$ iz 5.mj 2014.

2.2. Modernizacija monitoringa suspendiranog nanosa na HP Sava, Slavonski Brod

Korelacija između mjerne jedinice za mutnoću koja se dobije putem optičke sonde *Nephelometric Turbidity Unit (NTU)* i stvarne koncentracije suspendiranog nanosa na osnovi pojedinačnih uzoraka, predstavlja temelj za kontinuirani monitoring i dojavu podataka o koncentraciji i pronosu suspendiranog nanosa u realnom vremenu. Primjere dobre prakse takvih sustava dojave u skoro realnom vremenu susrećemo u Njemačkoj (*Slika 5*), Nizozemskoj (*Slika 6*) i mnogim drugim zemljama.



Slika 5. Kartografski prikaz hidroloških postaja s RT koncentracijom susp. nanosa u Njemačkoj (www.gkd.bayern.de/de/fluesse/schwebstoff/tabellen)



Slika 6. Prikaz pronosa suspendiranog nanosa duž kritične dionice kanala u Nizozemskoj (preuzeto: Mol J. W., 2003)

2.3. Kemijska analiza suspendiranog nanosa

Za analizu su odabrani filter papiri s uzorcima suspendirane tvari dobiveni od DHMZ-a za vrijeme vršnih protoka u 2022. godini. Naneseni materijal prikupljen na filter papiru po sušenju je sastrugan, odvagnut u označene čaše i preliven s 20 mL zlatotopke. Čaše su zatvorene parafilmom i stavljene u vodenu kupelj te zagrijavane na 50 °C kroz 6 sati. Tako razlagani uzorci profiltrirani su u odmjerne tikvice od 50 ml koje su do oznake nadopunjene deioniziranom vodom. Kiseli eluati uzoraka nanosa analizirani su na Atomskom Apsorpcijskom Spektrometru AAnalyst 800 proizvođača Perkin & Elmer, a određivani su elementi: Al, As, Au, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Se i Zn. U analizama su korištene tri tehnike, plamena tehnika (FAAS), tehnika s grafitnom peći (GFAAS) i hidridna tehnika (FIAS). Vrijednosti rezultata dobivene atomskim apsorpcijskim spektrometrom izražene su u mg/l (ppm) odnosno u $\mu\text{g/l}$ (ppb). S obzirom na odvage pojedinih uzoraka preračunate su u mg/g odnosno $\mu\text{g/g}$ suhe tvari.

U Tablici 2 prikazani su odabrani uzorci iz 2022. godine (ukupno 11 uzoraka) te pripadajući hidrološki podaci koji opisuju hidrološko stanje na taj dan.

Tablica 2. Analizirani uzorci suspendiranog nanosa i pripadne hidrološke veličine

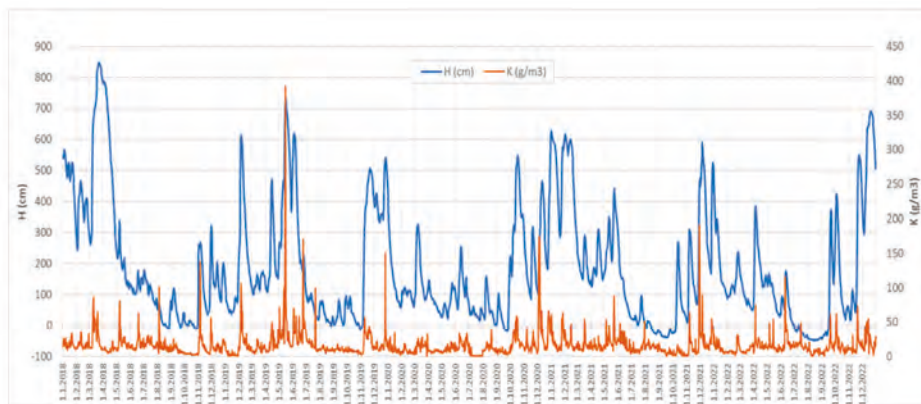
DATUM	UZORAK	SSC (g/m ³)	H (cm)	Q (m ³ /s)	P (t/dan)
5.4.2022.	95	74,8	381	1411	9120
7.5.2022.	125	48,95	159	691	2918
15.5.2022.	135	53,8	113	557	2592
11.6.2022.	162	115,1	106	537	5336
13.6.2022.	164	47,63	177	745	3064
21.9.2022.	264	60,86	368	1366	7186
4.10.2022.	277	61,49	420	1542	8196
21.11.2022.	325	73,69	465	1697	10804
11.12.2022.	345	50,47	569	2058	8745
12.12.2022.	347	43,76	635	2291	9992
14.12.2022.	349	54.71	640	2311	6630

SSC...koncentracija suspendiranog nanosa, *H*...vodostaj, *Q*...protok, *P*...pronos suspendiranog nanosa

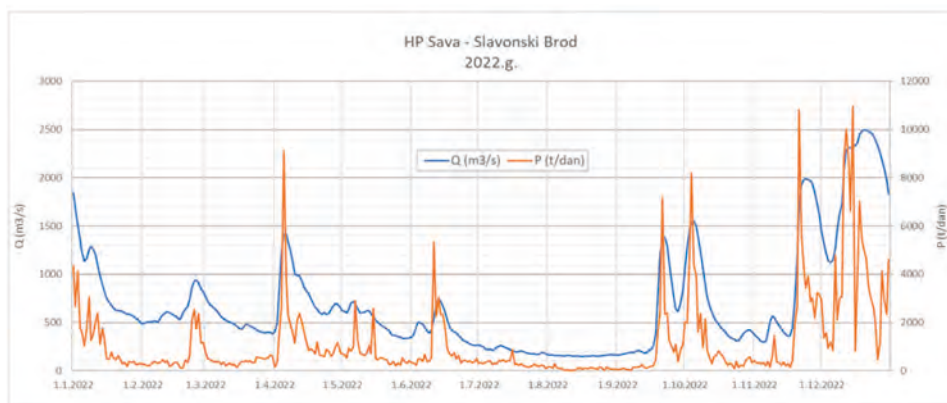
3. REZULTATI

3.1. Rezultati hidrološke analize

Usporedba dnevnih vrijednosti vodostaja i koncentracija suspendiranog nanosa izvršena je za za razdoblje 2018. - 2022. Na grafičkom prikazu (Slika 7) je vidljivo da su u tom razdoblju vodostaji varirali od vrlo visokih ($H_{maks} = 847$ cm 23. ožujka 2018.) do ekstremno niskih ($H_{min} = -48$ cm 16. kolovoza 2022.) dok su se koncentracije suspendiranog nanosa uglavnom kretale do 50 g/m³, s najvećom vrijednosti od 392 g/m³ izmjerenom 23. listopada 2021., i najnižom od samo $0,29$ g/m³ koja je izmjerena 28. ožujka 2020. U usporedbi s apsolutnim ekstremima za cijelo razdoblje mjerenja, prikazanim u Tablici 1, minimalne i maksimalne vrijednosti su vrlo bliske apsolutnim ekstremnim vrijednostima te pokazuju koji raspon vrijednosti bi trebao zadovoljiti senzor za mjerenje mutnoće.



Slika 7. Prikaz kretanja dnevnih vodostaja i koncentracija suspendiranog nanosa na HP Sava, Slavonski Brod za razdoblje 2018. - 2022. godina



Slika 8. Prikaz kretanja dnevnih protoka i pronosa suspendiranog nanosa na HP Sava, Slavonski Brod u 2022. godini

Iz usporednog grafičkog prikaza dnevnih vrijednosti vodostaja i koncentracija suspendiranog nanosa u razdoblju 2018. - 2022. na slici 7, vidljivo je da maksimalne koncentracije ne prate uvijek i maksimalne vrijednosti vodostaja. Primjer jednog takvog događaja je ožujak 2018. godine, kada su velike vode bile posljedica naglog topljenja velikih količina snijega na slivu Save i njenih pritoka, ponajprije Kupe i desnih pritoka u Bosni, a topljenje snijega, za razliku od ekstremnih kiša, ne donosi velike količine ispranog nanosa sa sliva. Na Slici 8 je dan usporedni prikaz dnevnih protoka i pronosa suspendiranog nanosa tijekom 2022. godine. Na grafu je vidljivo poklapanje vrhova vodnih valova i maksimalnih dnevnih pronosa nanosa početkom godine, u travnju, zatim u rujnu i listopadu i ponovo u studenom i prosincu. Najveće vrijednosti suspendiranog nanosa izmjerene su nakon obilnih oborina početkom travnja te u studenom i prosincu, kada je dnevni pronos bio od 9.120 do 10.804 tona, Tablica 2.

3.2. Rezultati kemijske analize

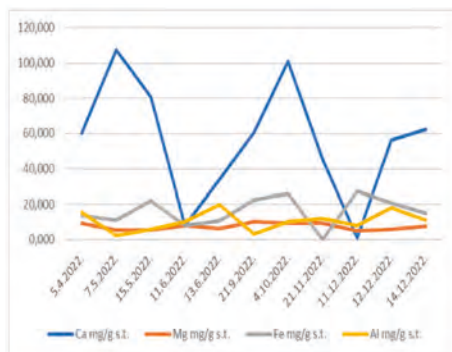
Na osnovu dobivenih rezultata mjerenja sadržaja elementarnog sastava 11 uzoraka prikupljenog suspendiranog nanosa izračunati su osnovni statistički pokazatelji (Tablica 3). Ustanovljeno je da se dobivene koncentracije nalaze u okviru rezultata prijašnjih istraživanja koja se odnose na mjerenje koncentracije pojedinih elemenata u površinskom dijelu poplavnih područja rijeke Save (Halamić et al., 2003; Halamić, et al., 2009).

Varijacije dobivenih vrijednosti nastaju kao posljedica prirodnih utjecaja od kojih su najvjerojatniji regionalni hidrološki uvjeti, odnosno utjecaji donosa materijala rijekom Savom i njenim pritokama do Slavenskog Broda, te povremenim ispiranjem površinskog tla tijekom intenzivnijih i obilnijih oborina (Slika 9 i 10). Spomenuti utjecaji mogu na velikom slivnom području Save djelovati istovremeno ili pojedinačno, ovisno o meteorološkim uvjetima u pojedinim dijelovima sliva. Tijekom budućih istraživanja potrebno je izdvojiti skupine podataka koji se odnose na datume prikupljanja uzoraka koji pokazuju najveće sličnosti, a mogu se povezati upravo s donosima, odnosno pronosima materijala iz različitih dijelova sliva jer na osnovi analize suspendirane tvari nije ustanovljena značajna korelacija protoka i pojedinih elemenata.

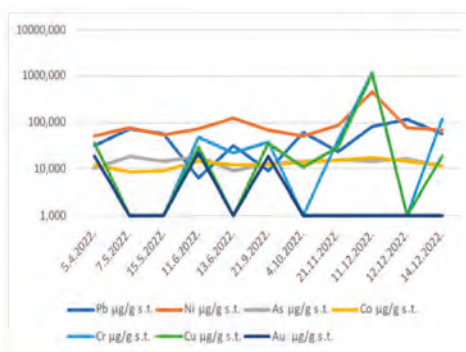
Tablica 3. Osnovni statistički pokazatelji rezultata analize elementarnog sastava suspendiranog nanosa

Kemijski elem.	N	Sredina	Median	Minimum	Maksimum	Std.dev.
Ca (mg/g s.t.)	11	56,02	60,00	0,828	107,50	33,664
Mg (mg/g s.t.)	11	7,48	7,72	5,000	10,36	1,982
Na (mg/g s.t.)	11	0,16	0,09	0,001	0,59	0,226
K (mg/g s.t.)	11	1,17	1,26	0,494	1,70	0,416
Al (mg/g s.t.)	11	10,52	10,32	2,226	19,82	5,694
Fe (mg/g s.t.)	11	16,15	15,20	0,123	27,51	8,418
Zn (mg/g s.t.)	11	1,94	1,58	0,202	5,38	1,742
Mn (mg/g s.t.)	11	0,88	0,95	0,134	1,37	0,405
Cr (mg/g s.t.)	11	0,14	0,04	0,001	1,19	0,352
Cu (mg/g s.t.)	11	0,12	0,02	0,001	1,13	0,335
Au (mg/g s.t.)	11	0,007	0,001	0,001	0,02	0,009
Pb (µg/g s.t.)	11	49,80	56,76	6,387	117,14	33,455
Ni (µg/g s.t.)	11	107,37	70,45	50,224	454,95	116,974
Co (µg/g s.t.)	11	12,76	12,50	8,521	17,33	2,631
Cd (µg/g s.t.)	11	3,48	1,68	0,464	11,65	4,130
Hg (µg/g s.t.)	11	0,09	0,001	0,001	0,30	0,123
As (µg/g s.t.)	11	14,20	14,61	9,177	18,92	3,125
Se (µg/g s.t.)	11	0,32	0,10	0,001	0,73	0,351

Provedenom korelacijom utvrđeno je da postoji korelacija protoka s kobaltom ($r = 0,50$), olovom ($r = 0,48$) i živom ($r = 0,46$) te nešto slabija s kalijem, aluminijem, željezom, bakrom i niklom ($r = 0,3 - 0,4$). Pojedini od ovih elemenata iznimno su toksični za cijeli ekosustav poput: kadmija, olova, arsena, kroma. Izvor spomenutih metala može, u ovom slučaju, biti i prirodan i antropogen. Prirodan izvor mogu biti rudonosne pojave na području Bosne i Hercegovine, a antropogeni sva industrijska postrojenja u slivnom području Save do Slavonskog Broda, urbanizirana područja većih mjesta te, ne manje bitna, uporaba agrotehničkih kemijskih sredstava (pesticidi i mineralna gnojiva).



Slika 9. Varijacije koncentracija Ca, Mg, Fe, Al u uzorcima suspendiranog nanosa



Slika 10. Varijacije koncentracija Pb, Ni, As, Co, Cr, Cu, Au u uzorcima suspendiranog nanosa

ZAKLJUČAK

Suspendirani sediment utječe na mutnoću mnogih rijeka, posebice za jakih kiša koje uzrokuju prenošenje velike količine suspendiranog materijala. Budući da je suspendirani sediment ujedno i skladište i medij za pronos onečišćujućih tvari, poseban značaj za dobivanje relevantnih informacija imaju vodomjerne postaje s dugim nizovima motrenja na osnovu čijih se podataka mogu pratiti i predvidjeti kratkoročni i dugoročni utjecaji duž vodotoka. Korelacija protoka i elementarnog sastava u ovom radu naglasila je najveći utjecaj na transport kobalta, žive i olova u suspendiranom nanosu.

U radu su naglašeni prioriteti i nedostaci u poznavanju režima nanosa, važnost dostupnosti i upotrebe mjerodavnih hidroloških podataka kao i informacija i usluga u operativnoj hidrologiji.

U slučaju naših velikih rijeka poput Save, Drave i Dunava javlja se potreba za kontinuiranim monitoringom pronosa suspendiranog nanosa kao i koordiniranim planom i programom prekogranične suradnje u području hidrološkog monitoringa na međudržavnim slivovima. Metodom koja je prikazana u radu moguće je provesti modernizaciju praćenja pronosa suspendiranog nanosa tijekom poplavnih događaja ili u razdobljima malih voda na svim hidrološkim postajama na kojima je predviđena instalacija optičkih senzora za mutnoću.

LITERATURA

- [1] EC (2000): *Direktiva o standardima kvalitete okoliša* (EQS, 2000/60/EC)
- [2] EC, (2008): *Okvirna direktiva o vodama* (WFD; 2008/105/EC)
- [3] ISRBC, UNESCO, SedNet (2015): *Establishment of the Sediment Monitoring System for the Sava River Basin*, Zagreb (<https://savacommission.org/tehnicka-i-projektna-izvjesca>).
- [4] Halamić, J., Galović, J., Šparica, M. (2003): *Heavy metal (As, Cd, Cu, Hg, Pb and Zn) distribution in topsoil developed on alluvial sediments of the Drava and Sava Rivers in NW Croatia*, *Geologia Croatica*, 56/2, 215-232, Zagreb.
- [5] Halamić, J., Miko, S. (eds.) (2009): *Geochemical Atlas of the Republic of Croatia*, Croatian Geological Survey 87 pp,
- [6] Mol, J. W. (2003): *Sedimentation estimation from ADCP measurements - Monitoring sediment transport in small harbour*, *Hydro* 6/7 2003.
- [7] <https://hidro.dhz.hr> (28.9.2023.)
- [8] <https://www.gkd.bayern.de/de/fluesse/schwebstoff/tabellen> (30.9.2023.)
- [9] <https://community.wmo.int/en/planning-and-monitoring/strategic-planning> (30.9.2023.)

AUTORI

doc. dr. sc. Dijana Oskoruš ^a
prof. dr. sc. Sanja Kapelj ^a
izv. prof. dr. sc. Anita Ptiček Siročić ^a
Saša Zavrtnik, dr. med. vet. ^a
dr. sc. Danko Biondić, dipl. ing. građ. ^b

^a Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, Varaždin, 42000, Hrvatska, doskorus@gfv.hr

^b Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska, danko.biondic@voda.hr



R 1.14.

STOHAŠTIČKE KARAKTERISTIKE OSNOVNIH PARAMETARA REŽIMA VODA REKE SAVE U PROFILU HS ŽUPANJA

**Stevan Prohaska, Vladislava Bartoš Divac,
Ognjen Prohaska, Aleksanda Ilić**

SAŽETAK: U dosadašnjoj praksi sve metode hidroloških proračuna polazile su od činjenica da je hidrološki niz sastavljen iz serije nezavisnih članova (slučajnih događaja). Metode proračuna bazirale su se na primeni različitih empirijskih formula, ili su proizašle kao rezultat primene teorije statistike, odnosno verovatnoće. Daljim istraživanjem došlo se do zaključka da, uglavnom, između članova hidrološke serije postoji korelaciona zavisnost, odnosno da su članovi serije, u Markovljevom smislu, hronološki uslovno vezani, odnosno hidrološke serije su stohastički procesi. Sa ovim u vezi, dalja istraživanja su pokazala da analiza unutrašnje stohastičke strukture hidrološke serije predstavlja važan faktor pri definisanju zakonomernosti razvoja procesa, što u savremenom svetu predstavlja osnovu za donošenje bilo kakvih odluka opšteg vodoprivrednog značaja.

U ovom radu prikazane su osnovne stohastičke karakteristike režima voda reke Save u profilu hidrološke stanice (HS) Županja, počev od analize homogenosti i nezavisnosti, zatim unutargodišnje raspodele protoka, kao i pojave trenda i cikličnosti. Osnovni cilj analize je da se definiše dužina merodavnog perioda za ocenu vodnosti sliva reke Save u navedenom profilu.

KLJUČNE REČI: Srednji godišnji protok, Homogenost, Nezavisnost, Trend, Cikličnost, Unutargodišnja raspodela

STOCHASTIC CHARACTERISTICS OF THE MAIN SAVA WATER REGIME PARAMETERS AT THE PROFILE OF THE HS ŽUPANJA

ABSTRACT: In current practice, all hydrological calculation methods start out from the fact that a hydrological sequence consists of a series of independent members (random events). The calculation methods are based on the application of different empiric formulas, or they resulted from the application of the theory of statistics, i.e. probability. Further research lead to the conclusion that there is mostly a correlational dependence among the members of a hydrological series, i.e. that the members of a series, in Markov's sense, are conditionally bound chronologically, i.e. hydrological series are stochastic processes.

Further research showed that the analysis of internal stochastic structure of a hydrological series is an important factor in the definition of the regularity of process development, which, in the contemporary world, forms the basis of making any decisions of general water management importance.

The paper presents the main stochastic characteristic of the Sava water regime at the profile of the hydrological station (HS) Županja, starting from the analysis of homogeneity and independence, intra-annual distributions of discharge, emergence of a trend and cyclicity. The main purpose of the analysis is to define the length of the period for assessing the Sava water regime at the stated profile.

KEYWORDS: Mean annual discharge, Homogeneity, Independence, Trend, Cyclicity, Intra-annual distribution

1. UVOD

U novije vreme savremena hidrološka praksa zahteva relativno pouzdanije poznavanje unutrašnje strukture razvoja hidroloških procesa u vremenu. Tu se pre svega misli na razotkrivanje zakonitosti smenjivanja kišnih i sušnih perioda/godina čije poznavanje je od kapitalne vrednosti za izradu strategije dugoročnog vodoprivrednog razvoja, posebno u oblasti korišćenja voda (izgradnja akumulacija), poljoprivrede, hidroenergetika i drugo.

Najnovije najavljene očekivane promene klime ovakvu vrstu analiza samo pospešuju. Nagle promene pojedinih klimatskih parametara imaju za posledicu promenu karaktera osnovnih stohastičkih karakteristika tokom višegodišnjeg vremenskog perioda. Tu se pre svega misli na pojavu izraženijeg trenda u srednjoj vrednosti stohastičke vremenske serije ili promenu parametara periodične (ciklične) komponente serije, kao što su perioda cikličnosti, amplituda ili fazno pomeranje.

Svrha proračuna svih ovih karakteristika je da se identifikuje homogenost i nezavisnost u razmatranim veoma dugim vremenskim serijama i time se razotkrije (ne)postojanje prirodnih i antropogenih trendova, kao i eventualnih trendova izazvanih klimatskim promenama. Korelaciona i spektralna analiza, kao i periodogram analiza sa rezultatima analize primene Furijeovih transformacija, treba da ukaže na postojanje prirodne cikličnosti u razmatranim serijama proticaja, da identifikuje eventualno narušavanje istih, sa ocenom mogućih uzročnika.

U ovom radu predmet istraživanja je analiza stohastičke strukture serije srednje godišnjih protoka reke Save u profilu hidrološke stanice Županja. Zbog ograničenosti prostora obuhvaćene su same analize homogenosti, nezavisnosti, unutargodišnja raspodela protoka kao i analiza trenda i cikličnosti.

2. METODOLOGIJA PRORAČUNA STOHAŠTIČKIH KARAKTERISTIKA SERIJA SREDNJIH GODIŠNJIH PROTOKA

2.1 Homogenost, nezavisnost i unutargodišnja raspodele protoka

Za ocenu homogenosti, dokumentacija [1], uglavnom se testiraju statistički parametri na bazi uzorka slučajne promenljive X , i to: srednja vrednost serije \bar{X} , koja je najznačajnija

karakteristika, i disperzija S_X^2 , koja ukazuje na varijaciju slučajno promjenljive X tokom perioda. Testovima se ispituje da li navedeni statistički parametri, ocenjeni na bazi dva uzorka obima n_1 i n_2 , pripadaju istoj populaciji.

Za testiranje srednje vrednosti, za prag značajnosti α , koriste se normalizovan Z-test i Studentov T-test, dok se za testiranje varijanse koriste Fišerov F-test.

Postavljaju se nulte hipoteze: $H_0: \mu_{X_1} = \mu_{X_2} = \mu_X$ za srednju vrednost i $H_0: \sigma_{X_1}^2 = \sigma_{X_2}^2 = \sigma_X^2$ za varijansu. Suština testiranja sastoji se u ispitivanju da li srednje vrednosti dva uzorka \bar{X}_1 i \bar{X}_2 obima n_1 i n_2 pripadaju istoj populaciji, odnosno testira se nulta hipoteza: $H_0: \bar{X}_1 \cong \bar{X}_2$.

Zavisno of broja uzoraka koriste se Normalizovan Ztest ako je $n_1, n_2 > 30$ ili Studentov T-test, ako je $n_1, n_2 < 30$.

Normalizovan Z-test polazi od pretpostavke da je slučajno promjenljiva X normalno raspoređena i da su članovi serije međusobno nezavisni. Kriterijum testa je statistika $Z = \frac{X_1 - X_2}{\sigma_{X_1 - X_2}}$, gde je $\sigma_{X_1 - X_2}$

$$= \sqrt{\frac{\sigma_{X_1}^2}{n_1} - \frac{\sigma_{X_2}^2}{n_2}}$$

koja ima $N(0,1)$ raspodelu, pa se nulta hipoteza prihvata ako je: $Z_{\alpha/2} < Z < Z_{1-\alpha/2}$

Studentov T-test pretpostavlja da se slučajno promjenljiva X pokorava normalnom zakonu raspodele i da su varijanse dva uzorka jednake, tj. nulta hipoteza je: $H_0: \sigma_{X_1} = \sigma_{X_2} = \sigma_x$

Kriterijum za proveru nulte hipoteze je statistika: $t = \frac{\sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \cdot \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{n_1 \cdot \sigma_{X_1}^2 + n_2 \cdot \sigma_{X_2}^2}{n_1 + n_2}}}$ koja ima

Studentovu raspodelu $S_0(t)$ sa $v = n_1 + n_2 - 2$ stepeni slobode. Nulta hipoteza se prihvata ako je: $t_{\alpha/2} \leq t \leq t_{1-\alpha/2}$, gde je t_α - kritična vrednost Studentove raspodele za rizik α , σ_x - srednje kvadratno odstupanje slučajne promjenljive X .

Za testiranje homogenosti disperzije slučajne serije X , korišćen je Fišerov test. Uslov za primenu ovog testa je da su elementi populacije (članovi serije) nezavisni, da su dva uzorka (podserije) normalno raspoređena i da parametri populacije nisu poznati. Nulta hipoteza je:

$H_0: \sigma_{X_1} \cong \sigma_{X_2}$ Kriterijum za jednakost dveju disperzija je statistika $F = \frac{\sigma_{X_1}}{\sigma_{X_2}}$ ($\sigma_{X_1} \geq \sigma_{X_2}$)

koja ima Fišerovu raspodelu sa $v_1 = n_1 - 1$ i $v_2 = n_2 - 1$ stepeni slobode. Nulta hipoteza se prihvata ako je: $F < F_{1-\alpha}(v_1, v_2)$, gde je F_α - kritična vrednost po Fišerovoj raspodeli za koeficijent rizika α .

Pri analizi hidrometeoroloških vremenskih serija primenom teorije matematičke statistike, neophodan je uslov da članovi serije budu međusobno nezavisni, tj. da predstavljaju slučajne veličine. Za ocenu nezavisnosti (zavisnosti) članova vremenske serije korišćen je test uzastopnih razlika, tzv. Nejmanov test. Uslov za prihvatanje nulte hipoteze H_0 : vremenska serija X je sastavljena od niza

nezavisnih članova X_i jeste da je statistika $U = \frac{\frac{d^2}{\sigma_x^2} - 1}{\frac{n-2}{n^2-1}}$ približno normalno raspoređana po

$N(0,1)$ raspodeli, gde je $d^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (X_{i+1} - X_i)^2$. Region prihvatanja nulte hipoteze za

koeficijent rizika α je $U_{\alpha/2} < U < U_{1-\alpha/2}$

Sva testiranja homogenosti (srednjih višegodišnjih vrednosti i disperzija) i nezavisnosti članova vremenskih serija izvršena su za vrednost koeficijenta rizika $\alpha = 0,5$ (tj. $\alpha = 5\%$), odnosno na nivou poverenja $1 - \alpha = 0,95$ (odnosno $1 - \alpha = 95\%$). Pri testiranju homogenosti vremenske serije su podeljene na dve podserije približno istih dužina ($n_1 \cong n_2$), ako nema drugih opravdanih razloga (primena metode dvostrukih sumarnih linija).

2.2 Linearni trend i spektralna analiza

U analizi unutrašnje strukture vremenskih serija, trend u srednjoj vrednosti predstavlja bitnu osobinu hidroloških serija. Pri analizi trenda u hidrološkoj praksi je uobičajeno da je prethodno u serijama srednjih godišnjih protoka izvršena identifikacija linearnog trenda. Jednačina linearnog trenda glasi $T_t = a + b t$, gde je T_t - vrednost trenda u vremenskom trenutku t , a a i b - parametri koji se dobijaju metodom najmanjih kvadrata.

Ocena statističke značajnosti identifikovanih trendova vrši se pomoću testa sa uključivanjem modifikacije. Iskustvo je pokazalo da se prilikom identifikacije trenda mora voditi računa o dužini niza i apsolutnim vrednostima serije, tako su ovim testom modifikovani osnovni nizovi slučajno promenljive Q . Ovo se postiže uvođenjem nove promenljive: $Q^*(i) = 1 + \frac{(Q_i - Q_{min}) \cdot N}{Q_{max} - Q_{min}}$ gde je $Q^*(i)$ vrednost modifikovane promenljive Q_i u i -tom trenutku, Q_{min} minimalna vrednost slučajne promenljive Q , Q_{max} maksimalna vrednost slučajne promenljive Q , N ukupan broj podataka slučajne promenljive Q . Sa ovako definisanom promenljivom $Q^*(i)$ računa se linearni trend sa koeficijentom pravca

(nagibom) β . Ako se pokaže da je identifikovani nagib trenda veći od $|\beta| > 1,96 \sqrt{\frac{12}{N^3}}$, zaključuje se da je trend značajan na pragu poverenja od 5 %.

2.3 Analiza cikličnosti serije srednjih godišnjig protoka

Analiza cikličnosti serije srednjih godišnjih protoka Save vrši se primenom integralne krive modulnih odstupanja.

2.4 Unutargodišnja raspodela protoka

Unutargodišnja raspodela srednjih mesečnih protoka ukazuje na prosečni raspored protoka unutar godine i omogućava ocenu vodnosti perioda tokom godine.

3. REZULTATI TESTIRANJA

3.1. Homogenost i nezavisnost

Testiranje serije srednjih godišnjih protoka reke Save na HS Županja izvršeno je na osnovu podataka Državog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske za period 1946. - 2018.

Za potrebe analize homogenosti serija je podeljena na dva dela iste dužne. Osnovni statistički parametri ukupne serije, kao i novih serija (I i II) - srednja vrednost Q_{sr} , standardna devijacija σ koeficijenti varijacije C_v i koeficijent asimetrije C_s prikazani su u tabeli. 1.

Tabela 1. Statistički parametri serija srednjih godišnjih protoka Save za različite periode

Statistički parametar	Ukupna niz	Serija I	Serija II	
	1946-2018	1946-1981.	1982-2018.	
srednje vrednost Q_{sr}	1114,5	1171.5	1059.0	
standardna devijacija σ	229,7	204,4	241,9	
koeficijenti varijacije C_v	0,206	0,175	0,228	
koeficijenti asimetrije C_s	0,450	0,073	0,078	

Vidi da serija II ima manju srednju vrednost oko 10 %, a disperzija je povećana za preko 18 %, što se odrazilo na povećanje koeficijenta varijacije za oko 30 %, dok se koeficijent asimetrije smanjio za manje od 10 %. To samo ukazuje na moguću stohastički karakter serije srednjih godišnjih protoka reke Sava na profilu HS Županja.

Testiranjem homogenosti serije srednjih godišnjih protoka dobijeni su sledeće vrednosti $Z = 2,17$, što je van granica prihvatanja nulte hipoteze - $1,96 < Z < 1,96$ i $t = 2,278$, što je, takođe, van granica prihvatanja nulte hipoteze - $2,00 < t < 2,0$. Oba testa ukazuju da je razmatrana serija srednjih godišnjih protoka nehomogena.

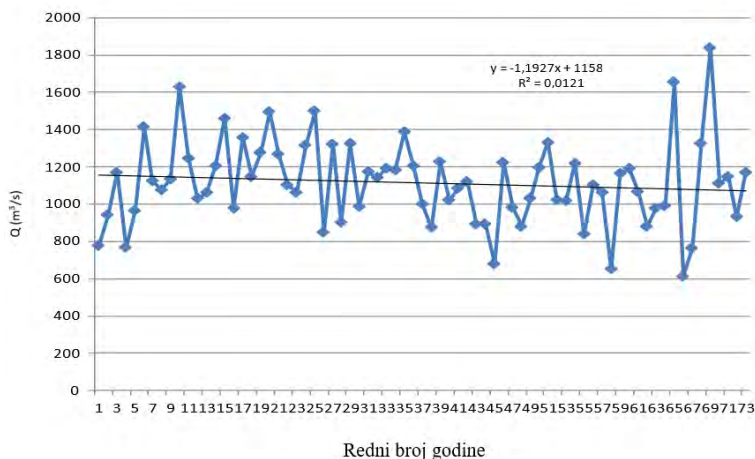
Testiranjem homogenosti disperzije dobijeno je $F = 1,032$, što je u granici prihvatanja nulte hipoteza $F < F_{1-\alpha/2} = 1,765$, čime je pokazano da je disperzije razmatrane vremenske serije homogena.

Testiranjem nezavisnosti članova serije dobijeno je $d^2 = 1.035.027,74$, standardna devijacija osnovnog niza $\sigma_x = 229,7 \text{ m}^3/\text{s}$, ukupna dužina niza $N = 72$ godine, $U = 75,7$, što znatno izlazi iz intervala - $1,96 < U < 1,96$.

Prema tome sledi nadvosmislen zaključak da je razmatrana serije srednjih godišnjih protoka reke Save na profilu HS Županja sastavljena od statistički zavisnih članova niza, tj. da u suštini predstavlja stohastički proces.

3.2 Linearni trend

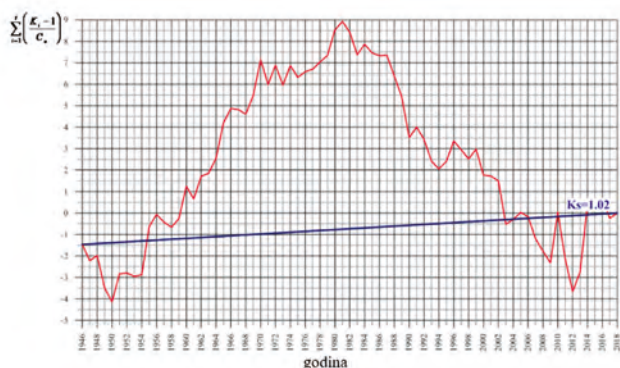
Sračunata jednačina linearnog trenda razmatrane vremenske serije $Q_{sr} = -1,193 \cdot t + 11.458,6$, sa koeficijentom korelacije $R = 0,021$ ukazuje da je trend negativan, a koeficijent korelacije statistički beznačajan. Test Kandell - Stuarta, gde je $\beta = |-1.193| > 1.96 \sqrt{\frac{12}{72^3}} = 0,011$ ukazuje da je, na nivou poverenja od 5 %, linearni trend serije srednjih godišnjih protoka statistički značajan.



Slika 1. Linearni trend serije srednjih godišnjih protoka reka Save na HS Županja

3.3. Cikličnost

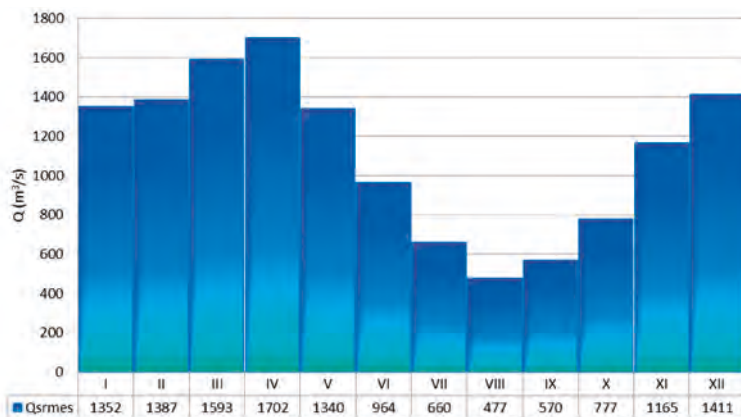
Analiza cikličnosti serije srednjih godišnjih protoka Save na HS Županja izvršena je primenom integralne krive modulnih odstupanja i prikazani na slici 2. Prikazani grafik ukazuje da u razmatranoj seriji postoji predominantna makro cikličnost, sa periodom cikličnosti od 62 godine (1950. - 2012.), unutar koga postoji niz mikro cikličnih oscilacija srednjih godišnjih protoka.



Slika 2. Integralna kriva modulnih odstupanja serije srednjih godišnjih protoka Save na HS Županja

3.4. Unutargodišnja raspodela srednjih mesečnih protoka Save

Karakter unutargodišnje raspodele protoka reke Save na profilu HS Županja vidi se na slici 3, gde je dat grafički i numerički prikaz prosečnih višegodišnjih srednjih mesečnih protoka (m^3/s). Vidi se da vodni period na Savi traje skoro sedam meseci, od novembra do maja, a malovodni period traje kraće, u vremenskom periodu od jula do oktobra.



Slika 3. Unutargodišnja raspodela srednjih mesečnih protoka Save na HS Županja

ZAKLJUČAK

Sprovedene analize osnovnih stohastičkih karakteristika serije srednjih godišnjih protoka Save na profilu HS Županja ukazuju da je razmatrana vremenska serija nehomogena sa gledišta srednjih vrednosti i homogena po pitanju disperzije. Serija je sastavljena od statistički međusobno zavisnih članova niza, odnosno da u suštini predstavlja stohastički proces. U seriji postoji statistički značajan negativan trend. Sa gledišta cikličnosti razmatranog procesa evidentno je da postoji predominantna makro cikličnost, sa periodom cikličnosti od 62 godine (1950. - 2012.), unutar koga postoji niz mikro cikličnih oscilacija srednjih godišnjih protoka. Analizom raspodele protoka unutar godine zaključeno je da vodni period na Savi traje skoro sedam meseci, od novembra do maja, dok je malovodni kraći i traje od jula do oktobra.

LITERATURA

- [1] Prohaska S.: Hidrologija - III deo (2017): *Stohastička hidrologija*, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ i Republički hidrometeorološki zavod, Beograd, 196 + P156

AUTORI

prof. dr. Stevan Prohaska ^a
 dipl. građ. inž., Vladislava Bartoš Divac ^a
 dipl. građ. inž., Ognjen Prohaska, master. građ. inž. ^a
 doc. dr. Aleksandra Ilić, dipl. građ. inž. ^b

^a Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Jaroslava Černog 80, 11000 Beograd, Srbija, stevan.prohaska@jcerni.rs, vladislava.bartos@jcerni.rs, ognjen.prohaska@jcerni.rs

^b Građevinsko - arhitektonski fakultet u Nišu, Srbija, aleksandra.ilic@gaf.ni.ac.rs



R 1.15.

ANALIZA TRENDOVA OBORINA I PROMJENA BILJNOG POKROVA NA SLIVU RIJEKE KUPE

Karlo Leskovar, Jelena Loborec, Dijana Oskoruš, Ranko Biondić

SAŽETAK: Posljednjih godina sve se češće svjedoči pojavi ekstremnih meteoroloških pojava koje mogu prouzročiti različite učinke na okoliš i socioekonomske uvjete ljudi. Globalne klimatske promjene mogu dugoročno utjecati na količine te intenzitet oborina, posljedica čega su promjene u raspoloživosti pitke vode, ali i opasnost od erozije tla uslijed sve većeg broja suša i poplava. Posebice na manjim planinskim slivovima posljedice obilnih oborina jakih intenziteta vrlo često mogu biti ozbiljne zbog činjenice da je kumulativna oborina izmjerena unutar jednog dana veća od mjesečnog prosjeka na tom slivu. Analiza trendova količina oborina te njihove signifikantnosti zbog toga sve više dobiva na značaju.

Poznato je da na otjecanje sa sliva znatan utjecaj ima vrsta površinskog pokrova te način obrade tla. Stoga je u svrhu boljeg razumijevanja reagiranja slivova na ekstremne oborinske pojave, uz analize trendova oborina i otjecanja, važno popratiti i promjene u vrsti površinskog pokrova i načinu korištenja zemljišta. CORINE Land Cover daljinski opaženi podaci predstavljaju vrlo često upotrebljavan izvor podataka o površinskom pokrovu te njihova dostupnost od 1990. do danas nudi izvrsnu polaznu točku za izučavanje trenutnog stanja, ali i promjena posljednjih tri desetljeća. U ovom radu analizirane su površine pojedinih vrsta pokrova i obrade tla te njihove promjene kroz promatrani period na dijelu sliva Kupe. Uz promjene načina korištenja terena, analizirani su i trendovi na odabranim meteorološkim (dnevne, mjesečne i godišnje sumarne visine oborina) i hidrološkim (dnevni, mjesečni te godišnji srednjaci protoka) postajama te je ocijenjena statistička značajnost trendova prema ne parametarskom Mann - Kendalllovom testu.

Analiza obuhvaća dio sliva rijeke Kupe do hidrološke postaje Ladešić Draga na kojoj je raspoloživ niz hidroloških mjerenja dovoljne duljine za usporedbu trendova količina oborina i otjecanja. Cilj rada jest ocijeniti i usporediti promjene količina oborina na planinskim slivovima u Hrvatskoj s promjenama zabilježenim na hidrološkim postajama. Također, ovim radom želi se ukazati na utjecaj klimatskih promjena na planinske slivove te posljedice koje se dugoročno mogu očekivati ako se dosad zabilježeni trendovi nastave.

KLJUČNE RIJEČI: Klimatske promjene, Površinski pokrov, Analiza trenda, Mann - Kendall, Corine Land Cover, Rijeka Kupa

ANALYSIS OF PRECIPITATION TRENDS AND LAND COVER CHANGES IN THE KUPA RIVER BASIN

ABSTRACT: In the recent years, we have been witnessing more frequent occurrences of extreme meteorological events, which can cause various impacts on the environment and socio - economic conditions. Global climate change can have a long-term influence on the amounts and intensity of precipitation, whose consequences include not only changes in the availability of drinking water, but also a danger from erosion due to a growing number of drought and flood events. Particularly in smaller mountain basins, the consequences of high - intensity, heavy precipitation can be very frequently serious - the cumulative precipitation measured in one day was higher than the monthly average of the basin. Therefore, analyses of precipitation amounts trends and their significance have been gaining increasing importance.

It is a familiar fact that runoff from a basin is largely influenced by the type of land cover and manner of soil cultivation. Consequently, in order to gain a better understanding of the way in which basins respond to extreme precipitation events, in addition to analyses of precipitation and runoff trends, it is important to monitor changes in the type of land cover and manner of soil cultivation. Remotely observed CORINE Land Cover data are a frequently used source of data on land cover, and its availability since 1990 to the present time provides an excellent starting point for studying both the current state and the changes in the past three decades. The paper analyses the surfaces of individual cover types and soil cultivation, as well as their changes within the observed period in a part of the Kupa river basin. In addition to changes in the manner of land use, trends at selected meteorological stations (daily, monthly and annual total amounts of precipitation) and hydrological stations (daily, monthly and annual average discharges) were analysed. The statistical significance of trends was evaluated according to the non-parametric Mann - Kendall test. The analysis covers the major part of the Kupa river basin to the hydrological station Ladešić Draga, which has an available series of hydrological measurements of sufficient length for a comparison of precipitation amount and runoff trends. The paper's objective is to evaluate and compare changes in precipitation amounts in Croatian mountain basins with changes recorded at hydrological stations. It further aims to emphasize the impact of climate change on mountain basins and the consequences that may be expected in the long - term if the trends recorded to date continue.

KEYWORDS: Climate change, Land cover, Trend analysis, Mann - Kendall, Corine Land Cover, Kupa River

1. UVOD

Oborine su jedan od najvažnijih prirodnih resursa u svijetu, budući da predstavljaju ulaznu komponentu hidrološkog ciklusa. Količina i učestalost oborina ima izravan utjecaj na protoke u vodotocima, količinu dostupne vode za ljudsku potrošnju i vodene ekosustave. S obzirom na pojave oborina velikog intenziteta nakon duljih sušnih perioda javljaju se ekstremne hidrološke pojave sa značajnim direktnim posljedicama, prvenstveno pojava poplava, klizišta, erozija obradivog tla, ali i indirektno, jer se zbog smanjenja infiltracije smanjuje količina vode za ljudsku potrošnju. Sve to utječe na okoliš i društvo. U poslje-

dnje vrijeme sve se veća važnost daje statističkoj obradi što je moguće duljeg niza mjerenih podataka klimatskih i hidroloških varijabli kako bi se utvrdila pravilnost ponašanja u uvjetima klimatskih promjena. Upravo iz tog razloga analizu trendova količina oborina i površinskog otjecanja treba upotpuniti analizom promjena u načinu korištenja zemljišta i tipovima površinskog pokrova, kako bi se utvrdila reakcija slivova na ekstremne oborinske pojave. Kao područje istraživanja u ovom radu obrađen je sliv gornjeg toka rijeke Kupe koji ima obilježja planinskog krškog sliva. Na ovom vrlo specifičnom području na kojem se miješaju utjecaji različitih tipova klime, geološke građe i tektonike terena kao i topografije terena, teško je u mjerenim podacima prepoznati ponašanje i predvidjeti daljnje reakcije. Cilj je utvrditi pravilnosti u ponašanju izrazito velikih količina oborine koje prihranjuje izvore u ovom slivu, kao i promjene u površinskom pokrovu do kojih je došlo u promatranom razdoblju.

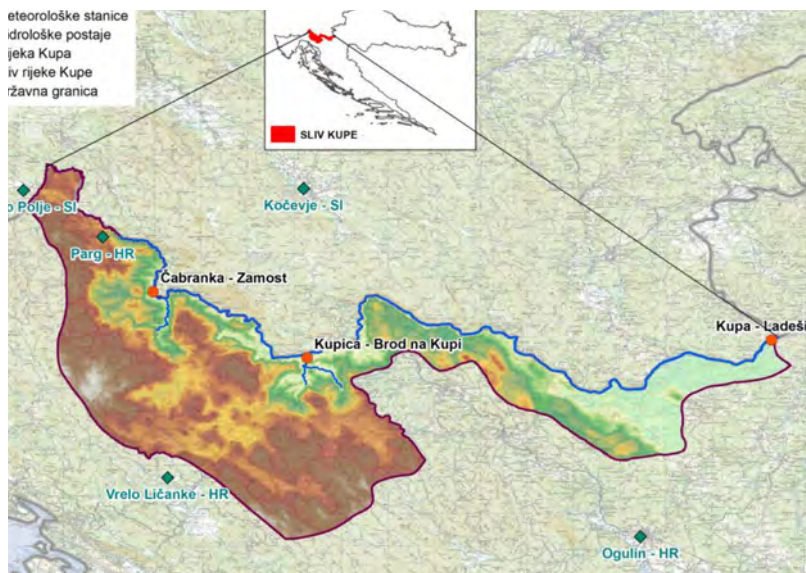
2. METODOLOGIJA

2.2. Opis istraživanog područja

Rijeka Kupa je, sa svojih gotovo 300 kilometara toka, najdulja rijeka koja ima svoj izvor i ušće u Republici Hrvatskoj. Izvire u središtu nacionalnog parka Risnjak, a gotovo cijelim gornjim tokom Kupa predstavlja granicu između Hrvatske i Slovenije. Sliv rijeke Kupe nalazi se glavninom na teritoriju Republike Hrvatske (86 % ukupne površine sliva), ali i u Sloveniji (14 % površine) (Zhu *et al.*, 2019) i to u gornjem toku rijeke Kupe sve do ulaza rijeke u ravnicu Karlovačke depresije (Slika 1), gdje sliv ima karakteristike dinarskog krškog terena (Biondić & Biondić, 2014; Bonacci & Andrić, 2010). Ovaj dio sliva je prilično malen, ali obiluje kvalitetnom vodom i dijelom se nalazi na većoj nadmorskoj visini. Rijeka Kupa je pritoka rijeke Save, koja pripada slivu rijeke Dunav, odnosno Crnomorskom slivu (Pandžić *et al.*, 2020). U hidrološkom smislu, izvorišni dio sliva Kupe karakterizira dinarski kišno - sniježni režim otjecanja (Čanjevac, 2013). Površina dijela sliva na hrvatskoj strani, analiziranog u svrhu određivanja promjena površinskog pokrova iznosi 1.027 km².

Gorski kotar tipično je krško područje kompleksne geološke građe i tektonike. Područje izgrađuju uglavnom karbonatne stijene mezozojske starosti, okršene i vodopropusne, sa znatnim udjelom klastičnih vodonepropusnih sedimenata paleozojske starosti u različitim litostratigrafskim razinama. Najveći stalni izvor je izvor same rijeke Kupe s količinama istjecanja od 1 m³/s u minimumu dok maksimumi prelaze 140 m³/s (Biondić & Biondić, 2014).

Klimatski gledano, na području su izraženi i mediteranski i kontinentalni utjecaji, a uočen je i značajan orografski utjecaj (Pandžić *et al.*, 2020). Ovo područje je izloženo intenzivnim oborinama, količina do 4.000 mm godišnje na najvišim predjelima uz postupno smanjenje prema nižim dijelovima unutrašnjosti i prema moru. Srednje godišnje temperature zraka su bliže kontinentalnoj klimi i kreću se oko 6 °C u gorskom području uz postupni porast prema unutrašnjosti. Međutim, utjecaj Mediterana svakako se prepoznaje u nepravilnom godišnjem rasporedu oborina, s duljim sušnim razdobljima tijekom ljeta te većim količinama oborina tijekom jeseni, zime i u proljeće (Biondić *et al.*, 2006).



Slika 1. Sliv rijeke Kupe s označenim lokacijama korištenih hidroloških i meteoroloških postaja

2.2. Mann - Kendall test statističke signifikantnosti trenda

Kako bi se procijenili trendovi i njihov značaj u podacima vremenskih serija korišten je ne parametarski Mann - Kendallov test (Kendall & Gibbons, 1990; Mann, 1945). Najprije se izračunava Mann - Kendallova statistika S za varijablu x slijedeći jednadžbu 1 (Mann, 1945):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \operatorname{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

gdje je sgn signum funkcija. Varijanca S statistike izračunava se iz jednadžbe 2 (Kendall & Gibbons, 1990):

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=1}^m t_k(t_k-1)(2t_k+5)}{18} \quad (2)$$

gdje je m broj grupa, a t_k broj podatkovnih točaka u grupi k . U slučajevima kada se varijabla sastoji od više od 10 vrijednosti, testna statistika $Z(S)$ izračunava se iz jednadžbe 3:

$$Z(S) = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}}, & \text{if } S > 0 \\ 0, & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V(S)}}, & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Pozitivne vrijednosti $Z(S)$ označavaju rastuće trendove, dok negativne $Z(S)$ označavaju padajuće trendove. Trendovi se smatraju značajnim ako je $|Z(S)|$ veće od standardne devijacije $Z_{1-\alpha/2}$ za odabranu vrijednost $\alpha = 0,95$ koja označava razinu značajnosti trenda.

3. REZULTATI

3.1. Analize trendova oborina, temperatura zraka i protoka

Provedena je analiza trendova te njihove statističke signifikantnosti prema Mann - Kendallovom testu za vrijednosti godišnjih suma oborina (p), srednje dnevne temperature zraka na razini godine (t) te broja dana sa sniježnim pokrivačem unutar jedne kalendarske godine (sd), odnosno broj dana kad meteorološka stanica mjeri barem 1 cm snijega. Analiza je provedena za meteorološke postaje Babno Polje (SLO), Kočevje (SLO) (ARSO - Agencija Republike Slovenije za Okolje, 2023), Ogulin (HR), Parg (HR) i Vrelo Ličanke (HR) (DHMZ - Državni hidrometeorološki zavod, 2023). Dok je za hidrološke postaje Brod na Kupi - Kupica, Zamost - Čabranka i Ladešić Draga - Kupa (DHMZ - Državni hidrometeorološki zavod, 2023), provedena identična analiza za nizove srednjih godišnjih protoka (q). Testirani je raspon podataka od 1991. (2004. za Babno Polje) do 2020. godine (2019. za protok).

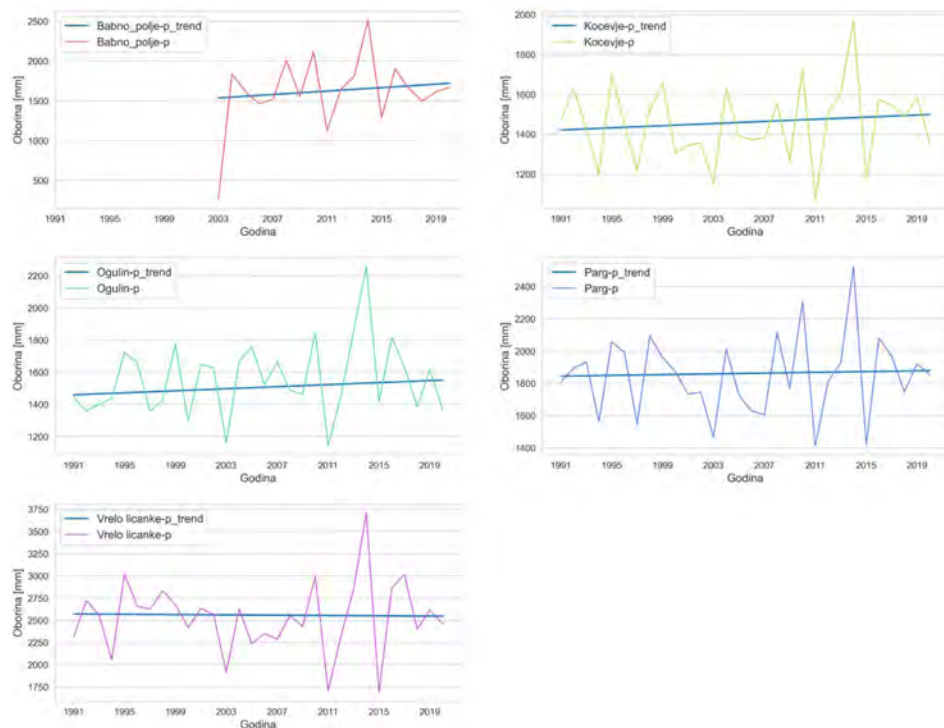
Karakteristični pokazatelji prema Mann - Kendall analiza određeni su pomoću *pymann-kendall* Python 3 knjižnice (Hussain & Mahmud, 2019) te prikazani u Tablicama 2, 3 i 4, gdje *trend* označuje postojanje statistički signifikantnog rastućeg ili padajućeg trenda, *h* označuje je li nul-hipoteza prihvaćena ili odbijena, *p* označuje statističku vjerojatnost, *z* normaliziranu vrijednost testa, *Tau* kendallov koeficijent korelacije ranga, *s* Mann - Kendall testni rezultat (zbroy rangova), *var_s* varijancu zbroja rangova, *Senov nagib* označuje rast ili pad linije trenda, a *odsjek* označuje odsjek regresijske linije trenda. Analizirajući godišnje sume oborina (Slika 2) uočava se blagi trend porasta količine oborina na postajama Babno Polje, Kočevje te Ogulin, dok kod postaje Vrelo Ličanke i Parg gotovo da i nema promjena. Važno je naglasiti, da unatoč blagom rastućem trendu na 3 od 5 postaja, niti jedan od zabilježenih trendova nije ocijenjen kao statistički signifikantan (Tablica 2).

Tablica 2. Rezultati Mann - Kendall analize trendova - oborine - godišnje količine oborine na pet meteoroloških postaja

	Babno Polje - p	Kočevje - p	Ogulin - p	Parg - p	Vrelo Ličanke - p
trend	trend nije značajan	trend nije značajan	trend nije značajan	trend nije značajan	trend nije značajan
h	odbijena	odbijena	odbijena	odbijena	odbijena
p	0,448718016	0,694687	0,497798	0,858401	0,886504806
z	0,757554019	0,392503	0,677959	0,17841	- 0,142728248
Tau	0,137254902	0,052874	0,089655	0,025287	0,020689655
s	21	23	39	11	- 9
var_s	697	3.141,667	3.141,667	3.141,667	3.141,666667
Senov nagib	10,82727273	2,677778	3,166667	1,166667	- 0,86
odsjek	1.405,190909	1.420,972	1.458,233	1.843,633	2.570,12

* trend nije značajan označuje da postoji tendencija smanjenja ili povećanja, no nije zabilježen statistički signifikantan trend

Vrlo je slična situacija promotre li se srednji godišnji protoci na promatranom slivnom području, gdje na postaji Ladešić Draga na rijeci Kupi, unatoč kraćem prekidu mjerenja, uočavamo blagi porast protoka u proteklih 30 godina, dok na postaji Brod na Kupi na Kupici nema promjena, a postaja Zamost na Čabranki čak pokazuje blagi pad u zabilježenim protocima (Slika 3). Kao i kod analize trendova godišnjih suma oborina, nije zabilježen statistički signifikantan trend (Tablica 3).



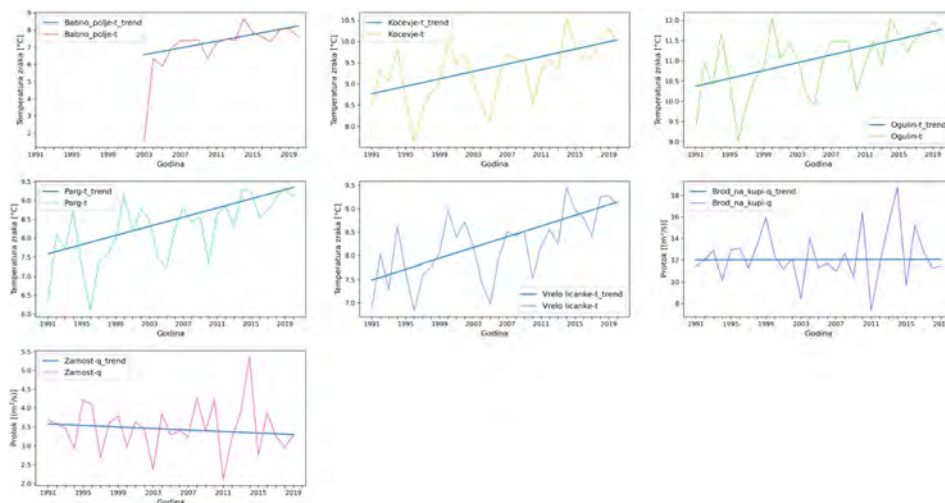
Slika 2. Analiza trendova godišnjih količina oborina na postajama Babno Polje, Kočevje, Ogulin, Parg i Vrelo Ličanke

Nadalje, analizirani su i drugi važni pokazatelji kod hidrološkog ciklusa, srednja dnevna temperatura na razini godine te broj dana pod snijegom. Svih 5 analiziranih meteoroloških postaja bilježi rastući trend temperatura zraka (Slika 3) te su za sve postaje ti trendovi otcjenjeni kao statistički signifikantni prema Mann - Kendall testu (Tablica 3), sa vrijednostima 0,04 do čak 0,09 °C godišnje, odnosno u prosjeku oko 1,85 °C u proteklih 30 godina.

Tablica 3. Rezultati Mann - Kendall analize trendova - temperature zraka i protoka - godišnji srednjaci

	Babno Polje - t	Kočevje - t	Ogulin - t	Parg - t	Vrelo Ličanke - t	Brod na Kupi - q	Zamost - q
trend	rastući	rastući	rastući	rastući	rastući	trend nije značajan	trend nije značajan
h	potvrđena	potvrđena	potvrđena	potvrđena	potvrđena	odbijena	odbijena
p	0,00037	0,001028	0,000699	0,000155	0,000135	0,985034	0,535906
z	3,560504	3,28275	3,389796	3,782299	3,817981	0,018758	- 0,61902
Tau	0,620915	0,425287	0,43908	0,489655	0,494253	0,004926	-0,08374
s	95	185	191	213	215	2	- 34
var_s	697	3.141,667	3.141,667	3.141,667	3.141,667	2.842	2.842
Senov nagib	0,098253	0,043733	0,048414	0,060801	0,057092	0,002028	- 0,01005
odsjek	5,380464	8,769122	10,36841	7,584089	7,489155	11,99961	3,579983

* trend nije značajan označuje da postoji tendencija smanjenja ili povećanja, no nije zabilježen statistički signifikantan trend



Slika 3. Analiza trendova temperatura zraka – Babno Polje, Kočevje, Ogulin, Parg i Vrelo Ličanke i protoka – Brod na Kupi, Ladešić Draga i Zamost

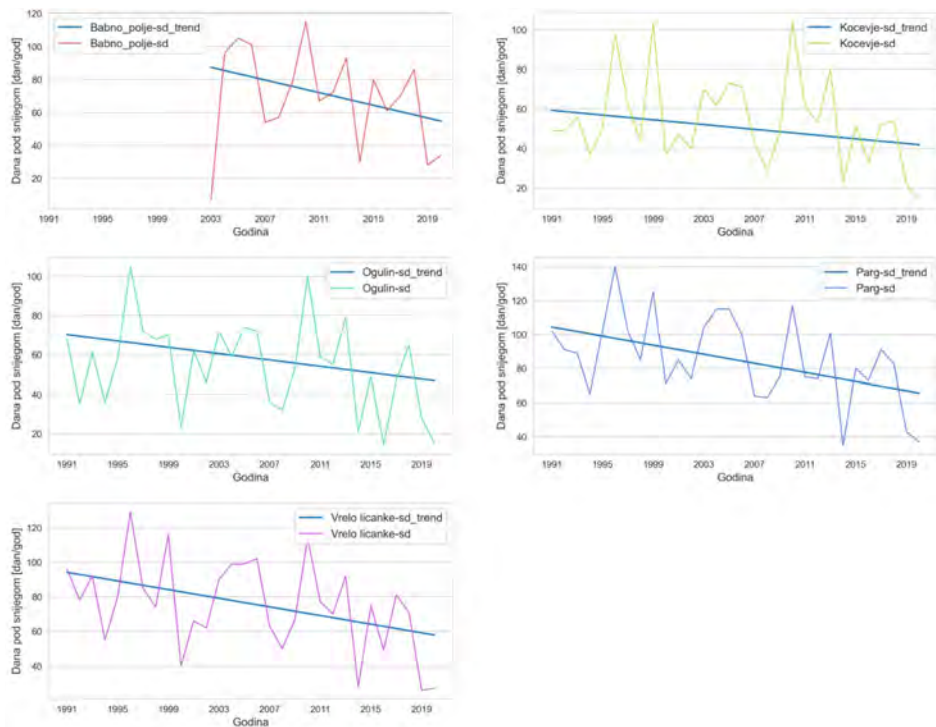
Analiza broja dana pod snijegom unutar godine provedena je na način da su zbrojeni svi dani unutar godine dana za koje je određena meteorološka postaja mjerila visinu snježnog pokrivača veću od 0 cm. Nadalje je taj broj uvršten u analizu trendova kao i ostali meteorološki i hidrološki pokazatelji. Iz grafova je vidljiv očigledan pad broja dana kada stanice bilježe snijeg (Slika 4.), dok su na stanicama Parg i Vrelo Ličanke zabilježeni

statistički signifikantni trendovi (Tablica 4.). Pogleda li se prosjek za sve stanice, na razini godine bilježi se godišnji pad od 1,18 dana, što na promatrani period od 30 godina iznosi prosječno preko 35 sniježnih dana manje.

Tablica 4. Rezultati Mann - Kendall analize trendova - broj sniježnih dana

	Babno Polje - sd	Kočevje - sd	Ogulin - sd	Parg - sd	Vrelo Ličanke - sd
trend	trend nije značajan	trend nije značajan	trend nije značajan	padajući	padajući
h	odbijena	odbijena	odbijena	potvrđena	potvrđena
p	0,324712	0,308951	0,107967	0,020204	0,045627
z	- 0,98482	- 1,01742	- 1,6074	- 2,32254	- 1,99883
Tau	- 0,17647	- 0,13333	- 0,2092	- 0,30115	- 0,25977
s	- 27	- 58	- 91	- 131	- 113
var_s	697	3.138,667	3.135	3.133	3.139,667
Sen_slope	- 1,91667	- 0,6	- 0,80769	- 1,33333	- 1,25
intercept	110,2917	59,2	70,21154	104,3333	94,125

* trend nije značajan označuje da postoji tendencija smanjenja ili povećanja, no nije zabilježen statistički signifikantan trend



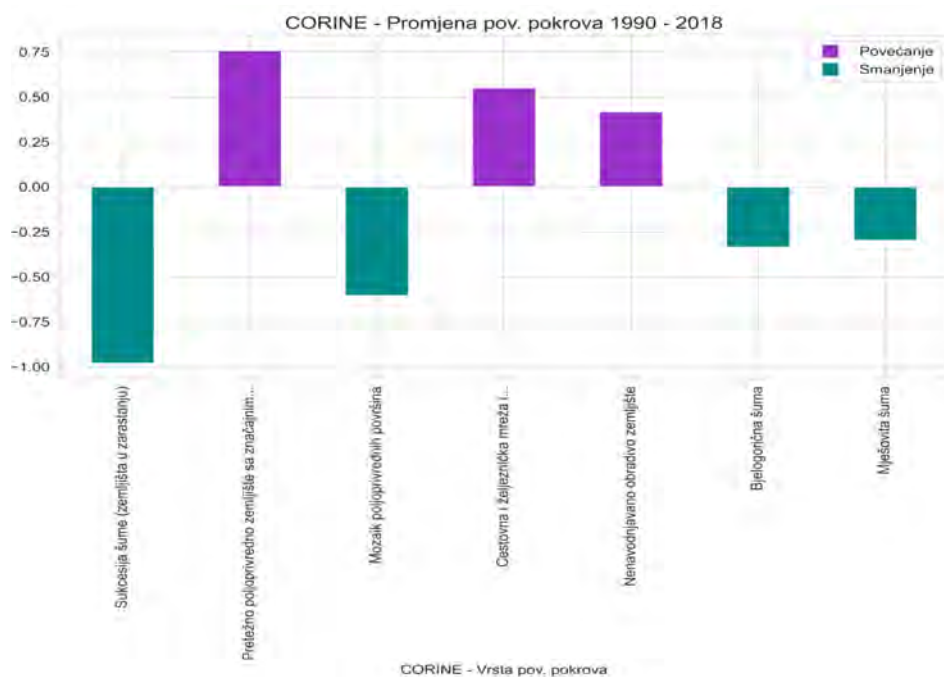
Slika 4. Analiza trendova sniježnih dana, za postaje Babno Polje, Kočevje, Ogulin, Parg i Vrelo Ličanke

3.2. Analiza površinskog pokrova prema CORINE Land Cover podacima

CORINE (Coordination of information on the environment) je baza podataka koja sadrži vrste površinskog pokrova (CLC) a definirana je 1985. godine kako bi se standardiziralo prikupljanje podataka o kopnenom pokrovu u Europi. Projekt koordinira Europska agencija za okoliš (EEA) u okviru programa EU Copernicus, a provode ga nacionalni timovi. Broj zemalja sudionica povećava se, uključujući 33 (EEA) zemlje članice i šest zemalja suradnica (EEA 39) s ukupnom površinom daljinskog opažanja od preko 5,8 Mkm² (CORINE Land Cover - Copernicus Land Monitoring Service, 2018).

Za ovo istraživanje korištene su inačice CLC1990 i CLC2018. Spomenute inačice dio su skupova podataka CORINE Land Cover (CLC) proizvedenih unutar okvira Copernicus Land Monitoring Service, koji se odnosi na stanje pokrova/korištenja zemljišta 1990. i 2018. godine +/- 1 godina sa satelitskom točnošću od ≤ 25 m. Rezultirajuća baza podataka oslanja se na standardnu metodologiju i nomenklaturu sa sljedećim osnovnim parametrima: 44 klase u hijerarhijskoj 3 - razinskoj CLC nomenklaturi; minimalna jedinica kartiranja (MMU) za statusne slojeve je 25 hektara (500 m x 500 m rezolucija); minimalna širina linijskih elemenata je 100 metara. Rasterske datoteke se preuzimaju kao 8 - bitne GeoTIFF datoteke. Ostvarena tematska točnost je ≥ 85 % (CORINE Land Cover - Copernicus Land Monitoring Service, 2018).

S ciljem usporedbe meteoroloških i hidroloških pokazatelja i trendova promjena zabilježenih kod istih, odrađena je i analiza promjena površinskog pokrova u proteklih 30-tak godina. U tu svrhu odabrano je 7 najzastupljenijih vrsta površinskih pokrova prema CORINE Land Cover podacima, te je za njih za podatke iz 1990. te 2018. godine izračunat postotak zastupljenosti na slivu rijeke Kupe do hidrološke postaje Ladešić Drage. Zatim su izračunati postoci za 1990. i 2018. godinu međusobno uspoređeni kako bi se identificirale promjena u zastupljenosti pojedine klase površinskog pokrova (Slika 5).



Slika 5. Promjene u zastupljenosti površinskog pokrova prema CORINE Land Cover podacima u razdoblju 1990. - 2018.

Iz grafičkog prikaza na slici 5 je vidljivo da su promjene gotovo zanemarive, gdje je najveća zabilježena za smanjenje zemljišta u zarastanju (nešto manje od 1 %), te povećanje od 0,75 % za poljoprivredna zemljišta s značajnim udjelom prirodnog raslinja. Slijedi, smanjenje poljoprivrednih površina, bjelogorične te mješovite šume, dok se bilježi porast cestovne i željezničke infrastrukture te navodnjavanih zemljišta.

4. RASPRAVA

Usporedbom dobivenih rezultata vidljivo je da trendovi uočeni na izvorišnom dijelu sliva rijeke Kupe do hidrološke postaje Ladešić Draga prate trendove uočene drugim istraživanjima za ostatak Republike Hrvatske (Bonacci, 2010; DHMZ - Državni hidrometeorološki zavod, 2023).. Statistički značajan trend povećanja srednje dnevne temperature zraka, kako na dnevnoj, tako i na godišnjoj razini, zasigurno utječe i na kraće

zadržavanje sniježnog pokrivača, što je vidljivo iz statistički signifikantnih trendova koji upućuju na prosječno 1,28 dana pod snijegom godišnje manje, na ovome području. Ovakvi rezultati su očekivani, ako se promotre slične analize trendova za područje Alpa (Matiu *et al.*, 2021).

Prema tipologiji, izvorišni dio rijeke Kupe karakterizira dinarski sniježno - kišni režim otjecanja (Čanjevac, 2013) te je vrlo interesantno uočiti da samo na postaji Ladešić Draga uočavamo blagi porast (statistički trend nije značajan) srednjih godišnjih protoka. Ostale dvije hidrološke postaje, Brod na Kupi - Kupica te Zamost - Čabranka, na znatno manjim rijekama, te uzvodnom, geografski višem području, ne prate ovaj trend, već čak na Čabranci vidimo blagi pad u srednjim godišnjim protocima. Za pretpostaviti je, da na postaje Brod na Kupi - Kupica i Ladešić Draga - Kupa, ipak veći utjecaj ima količina kiše, te da dominantu količinu otjecanja na tome području stvara kiša, dok se na postaji Zamost - Čabranka, može osjetiti utjecaj snijega, te zbog toga samo na toj postaji bilježimo blagi pad u srednjim količinama otjecanja.

Analizom godišnjih količina oborina uočen je blagi porast na svih 5 analiziranih meteoroloških stanica, no ni jedan od trendova nije označen kao statistički značajan. Ipak činjenica da postoji blagi porast u godišnjoj količini oborina očituje se također u blagom porastu srednjih protoka na rijeci Kupi.

ZAKLJUČAK

Iz provedene analize može se zaključiti da na godišnjoj razini postoji blagi porast količina oborina, te generalno, i blagi porast otjecanja mjerenih na rijeci Kupi, no ni jedan od trendova ukupnih godišnjih količina oborina ne može se označiti kao statistički značajan. Na manjom pritoku rijeke Kupe, Čabranci, uočavamo blagi pad otjecanja, što se može povezati sa statistički značajnim padom broja dana pod snijegom tokom godine na širem području Gorskog kotara.

Cijelo područje također prati značajan trend porasta srednjih temperatura zraka, što je u suglasju sa istraživanjima ostatka Hrvatske (DHMZ - Državni hidrometeorološki zavod, 2023), a što je uočljivo i u ostatku Europe i svijeta. Usporede li se meteorološki i hidrološki rezultati analize sa analizom promjena u površinskom pokrovu, ne može se povući poveznica, jer su promjene u vrstama površinskog pokrova premale (smanjenja ili povećanja manja od 1 % površine) da bi se mogli izvući pouzdani zaključci. Te se promjene zasigurno mogu pripisati urbanizaciji, tj. razvoju gospodarstva i prometne infrastrukture na tom području. Važno je naglasiti, da je korišten relativno kratak period podataka tokom analize, dijelom zbog raspoloživosti podataka, a dijelom zbog težnje da se obuhvati period meteoroloških i hidroloških podataka, obuhvaćen raspoloživim Corine Land Cover podacima.

Statistički značajni pad broja dana pod snijegom tokom godine na širem području Gorskog kotara upućuje na potrebu daljnjih istraživanja. Ovim istraživanjima bi trebalo detaljnije analizirati pojedina razdoblja te proširiti analizu trendova na sezonska razdoblja (topli - hladni dio godine), godišnja doba pa čak i na mjesečnoj bazi. No, za takvu analizu bio bi potreban i duži niz meteoroloških i hidroloških podataka. ako ne postoje podaci o vrstama površinskog pokrova prije 1990. godine, nije moguća usporedba sa promjenama u vrstama površinskog pokrova prema CORINE Land Cover podacima.

LITERATURA

- [1] Arso - agencija republike slovenije za okolje, (2023). <https://meteo.Arso.Gov.Si/met/sl/climate/>
- [2] Biondić, B. & Biondić, R., (2014): *Hidrogeologija dinarskog krša u hrvatskoj*, sveučilište u zagrebu geotehnički fakultet, zagreb, hrvatska, 341 p.
- [3] Biondić, B., Biondić, R. & Kapelj, S., (2006): Karst groundwater protection in the kupa river catchment area and sustainable development, *environmental geology*, vol. 49, N°6, p. 828-839.
- [4] Bonacci, O., (2010): Analiza nizova srednjih godišnjih temperatura zraka u hrvatskoj, *gradjevinar*, vol. 62, N°9, p. 781-791.
- [5] Bonacci, O. & Andrić, I., (2010): Impact of an inter-basin water transfer and reservoir operation on a karst open streamflow hydrological regime: an example from the dinaric karst (croatia), *hydrological processes*, vol. 24, N°26, p. 3852-3863.
- [6] Corine land cover - copernicus land monitoring service, (2018): *copernicus program*. <https://land.Copernicus.Eu/pan-european/corine-land-cover> (page consultée le 11/09/18)
- [7] Čanjevac, I., (2013): Tipologija protočnih režima rijeka u hrvatskoj, *hrvatski geografski glasnik*, vol. 75, N°1, p. 23-42.
- [8] DHMZ - Croatian meteorological and hydrological service, (2023): https://meteo.Hr/index_en.Php
- [9] DHMZ - Državni hidrometeorološki zavod, (2023): *odabrana poglavlja osmog nacionalnog izvješća republike hrvatske prema okvirnoj konvenciji ujedinjenih naroda o promjeni klime (unfccc)*.
- [10] Hussain, M. & Mahmud, I., (2019): Pymannkendall: a python package for non parametric mann kendall family of trend tests., *Journal of open source software*, vol. 4, N°39, p. 1556.
- [11] Kendall, M. & Gibbons, J., (1990): *Rank correlation methods - charles griffin book, san francisco, ca*, oxford university press; 5 edition, London, uk, 272 p.
- [12] Mann, H. B., (1945), Nonparametric tests against trend, *econometrica*, vol. 13, N°3, p. 245.
- [13] Matiu, M., Crespi, A., Bertoldi, G., Maria Carmagnola, C., Marty, C., Morin, S., Weilguni, V., (2021): Observed snow depth trends in the european alps: 1971 to 2019, *cryosphere*, vol. 15, N°3, p. 1343-1382.
- [14] Pandžić, K., Kobold, M., Oskoruš, D., Biondić, B., Biondić, R., Bonacci, O., Curić, O., (2020): Standard normal homogeneity test as a tool to detect change points in climate-related river discharge variation: case study of the kupa river basin, *Hydrological Sciences Journal*, vol. 65, N°2, p. 227-241.
- [15] Zhu, S., Bonacci, O., Oskoruš, D., Hadzima-Nyarko, M. & Wu, S., (2019): Long term variations of river temperature and the influence of air temperature and river discharge: case study of kupa river watershed in Croatia, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, vol. 67, n°4, p. 305-313.

AUTORI

dr. sc. Karlo Leskovar ^a

doc. dr. sc. Jelena Loborec ^a,

doc. dr. sc. Dijana Oskoruš ^a

prof. dr. sc. Ranko Biondić ^a

^a Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, Varaždin 42000, Hrvatska, karlo.leskovar@gfv.unizg.hr, jelena.loborec@gfv.unizg.hr, dijana.oskorus@gfv.unizg.hr, ranko.biondić@gfv.unizg.hr



R 1.16.

PRIMJENA POVRATNE NEURONSKE MREŽE U PREDVIĐANJU OTJECANJA UZROKOVANOG OTAPANJEM SNIJEGA NA SLIVU RIJEKE KUPE

Karlo Leskovar, Dijana Oskoruš, Lucija Plantak, Hrvoje Meaški

SAŽETAK: Hidrološki modeli se često izrađuju u operativne svrhe kako bi se mogle postići učinkovite mjere obrane i smanjile posljedice od poplava. Cilj hidroloških modela je bolje razumijevanja slivova, ali i spoznaja o reakciji sliva na određene, recentno često ekstremne, meteorološke pojave. Izoliranost i nedostupnost planinskih područja u izvorišnu dijelu sliva često predstavlja problem kod uspostave kvalitetnih hidroloških modela zbog manjka potrebnih ulaznih podataka, odnosno meteoroloških mjerenja oborina, visina snijega, temperature zraka ili evapotranspiracije.

Stoga se recentno sve češće poseže za modelima pokretanim podacima (eng. *data driven models*) gdje se ne polazi od fizikalne pojave koja uzrokuje vezu između oborina i otjecanja, već se veza ulaza - izlaza formira na temelju nizova prethodno mjerenih meteoroloških i hidroloških podataka. Kao vrlo uspješni pokazali su se hidrološki modeli bazirani na umjetnim neuronskim mrežama (eng. *Artificial Neural Networks* - ANN).

Neuronske mreže su veliki paralelni distribuirani sustavi građeni od jednostavnih procesnih jedinica (neurona), međusobno povezanih, s ciljem čuvanja eksperimentalnog znanja te stavljanja na raspolaganje za kasniju primjenu. Povratne neuronske mreže mogu rješavati nekoliko vrsta problema gdje ulazni i izlazni niz mogu biti sačinjeni od jednog ili više podataka (vremenskih koraka). U slučaju predviđanja otjecanja radi se o slučaju gdje imamo više ulaznih podataka te predviđamo više izlaznih podataka, odnosno slučaj slijed - u - slijed (eng. *sequence - to - sequence*). Ovim radom želi se pokazati da povratna neuronska mreža može predvidjeti unaprijed otjecanje uzrokovano otapanjem snijega ukoliko se poznaju i pažljivo odaberu relevantni ulazni podaci.

KLJUČNE RIJEČI: Hidrološki model, Otapanje snijega, Umjetna neuronska mreža, Model pokretan podacima

APPLICATION OF RECURRENT NEURAL NETWORK IN FORECASTING RUNOFF CAUSED BY SNOWMELT IN THE KUPA RIVER BASIN

ABSTRACT: Hydrological models are often developed for operational purposes, i.e. to enable the achievement of flood defence measures or a reduction of flood consequences. The objective of hydrological models is a better understanding of basins, but also gain-

ing insights into the manners in which basins respond to certain, recently often extreme meteorological phenomena. The remoteness and inaccessibility of mountainous regions in the source area of a basin frequently poses a problem during the development of high - quality hydrological models due to a lack of necessary input data, i.e., meteorological measurements of precipitation, snow depth, air temperature or evapotranspiration.

Recently, data - driven models are increasingly used, where the starting point is not the physical phenomena that cause the connection between precipitation and runoff, but the input - output connection is formed based on a series of previously measured meteorological and hydrological data. Hydrological models based on Artificial Neural Networks (ANN) have been proven very successful.

Artificial neural networks are large parallel distributed systems built from simple process units (neurons), interconnected, with the aim of preserving experimental knowledge and making it available for later application. Recurrent neural networks can solve several types of problems where the input and output sequence can be made up of one or more data (time steps), but runoff prediction is a case where we have more input data and predict more output data, referred to as sequence - to - sequence prediction. This paper aims to show that recurrent neural network can predict potential snowmelt - related runoff in advance if the relevant input data are known and carefully selected.

KEYWORDS: Hydrological model, Snowmelt, Artificial neural network, Data - driven model

1. UVOD

Naglo otapanje snijega, ponekad popraćeno obilnim oborinama, u gorskim područjima može uzrokovati značajne materijalne i ljudske štete. S ciljem zaštite od bujičnih poplava te smanjenja neželjenih posljedica od iznimne je važnosti prepoznavanje takvih događaja. Iako su gorska područja najčešće teško dostupna, te rjeđe naseljena, mali planinski slivovi vrlo često utječu na formiranje velikih vodnih valova koji ugrožavaju naselja uz nizvodne dijelove toka.

Hidrološki modeli su pojednostavljeni prikazi kompleksnih hidroloških procesa (Xu, 2002) koji doprinose boljem razumijevanju prirodnih procesa. Hidrološki modeli često se dijele na kategorije: deterministički (fizikalni), konceptualni te parametarski (također poznati kao analitički ili empirijski) (Anderson & Burt, 1985). Razvojem informatički tehnologije kao i umjetne inteligencije sve se češće poseže za korištenjem hidroloških modela baziranih na podacima (eng. data - driven models) (Berbić, 2017; Berbić *et al.*, 2017; Leskovar, 2022; Sit *et al.*, 2020; Sušanjan *et al.*, 2016), koji djelomično izbjegavaju kompleksne fizikalne procese i potrebne jednadžbe za opisivanje istih, te umjesto toga, „učē“ na nizovima ulaznih i očekivanih izlaznih podataka (Haykin, 2005).

Vremenski nizovi podataka poput otjecanja često pokazuju vremensku zavisnost (podatak u trenutku t , ovisi o podacima koji mu prethode), stoga je primjena uobičajenih unaprijednih (eng. *Feedforward Neural Networks*) neuronske mreže ograničena, te može rezultirati predviđanjima manje točnosti. S ciljem poboljšanja točnosti kod predviđanja vremenski zavisnih podataka, razvijene su povratne (eng. *Recurrent*) neuronske mreže (Schmidt, 2019). Prednost povratne neuronske mreže u odnosu na unaprijednu, leži u činjenici da izlaz u trenutku t bude uvjetovan ulaznim podacima u trenutku t , ali i izlazom

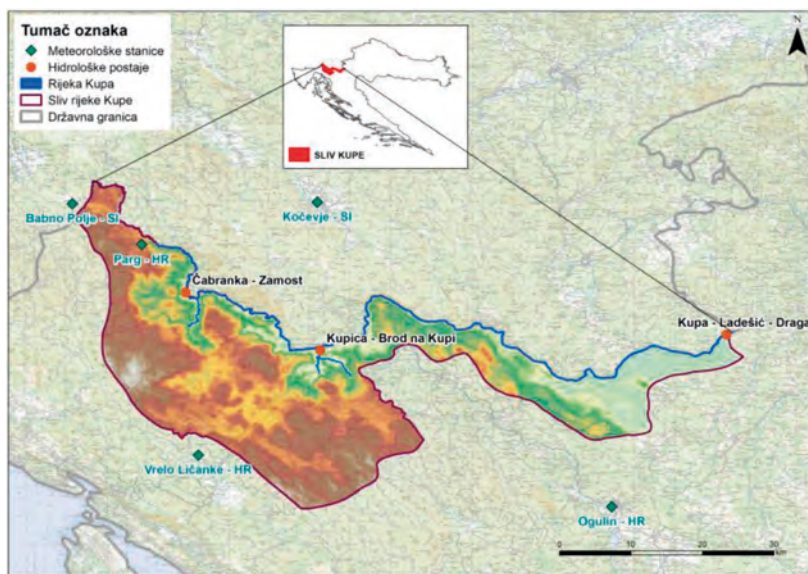
dobivenom u prethodnim vremenskim koracima $t - 1$, $t - 2$, do $t - n$.

Sa ciljem postizanja što točnijih predviđanja otjecanja te malih i velikih voda za vrijeme proljetnog otapanja snijega, razvijene su dvije inačice modela baziranog na povratnoj mreži s dugom kratkoročnom memorijom (eng. Long Short - term memory - LSTM): jedan pokretan isključio meteorološkim podacima, a drugi meteorološkim podacima te uzvodno mjerenim protokom na rijeci Kupici.

2. METODOLOGIJA

2.1. Opis istraživanog područja

Rijeka Kupa je, sa svojih gotovo 300 kilometara toka, najdulja rijeka koja ima svoj izvor i sliv u Republici Hrvatskoj. Izvire u središtu nacionalnog parka Risnjak, a gotovo cijelim gornjim tokom Kupa predstavlja granicu između Hrvatske i Slovenije. Sliv rijeke Kupe (Slika 1) nalazi se uglavnom na teritoriju Republike Hrvatske (86 % ukupne površine sliva) ali i u Sloveniji (14 % površine) (Zhu *et al.*, 2019), gdje sliv ima karakteristike dinarskog krškog terena (Biondić & Biondić, 2014; Bonacci & Andrić, 2010). Rijeka Kupa je pritoka rijeke Save, koja pripada slivu Dunava, odnosno Crnomorskom slivu (Pandžić *et al.*, 2020). U hidrološkom smislu, izvorišni dio sliva Kupe karakterizira dinarski kišno - sniježni režim otjecanja (Čanjevac, 2013). Najveći stalni izvor je izvor same rijeke Kupe sa količinama istjecanja od $1 \text{ m}^3/\text{s}$ u minimumu dok maksimumi prelaze $140 \text{ m}^3/\text{s}$ (Biondić & Biondić, 2014). Ovaj dio sliva je prilično malen, sa minimalnim protocima tokom ljetnih mjeseci (lipanj, srpanj, kolovoz), a maksimumima tokom kasne jeseni (listopad, studeni, prosinac) (Franciskovic - Bilinski *et al.*, 2012).



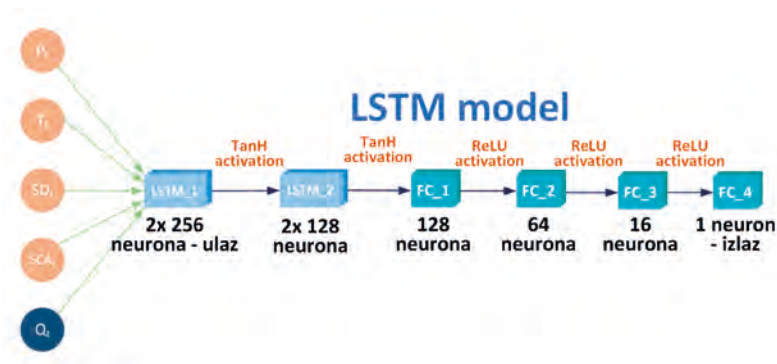
Slika 1. Sliv rijeke Kupe s označenim lokacijama korištenih hidroloških i meteoroloških postaja

Klimatski gledano, na području su izraženi i mediteranski i kontinentalni utjecaji, a uočen je i značajan utjecaj viših nadmorskih visina (Pandžić *et al.*, 2020). Ovo područje je izloženo intenzivnim oborinama, sa prosječnim količinama od 1.800 mm godišnje na jugozapadu te oko 950 mm godišnje na sjeveroistočnom dijelu sliva (Franciskovic - Bilinski *et al.*, 2012). Srednje godišnje temperature zraka su bliže kontinentalnoj klimi i kreću se oko 6 °C u gorskom području uz postupni porast prema unutrašnjost. Međutim, utjecaj Mediterana svakako se prepoznaje u nepravilnom godišnjem rasporedu oborina, s duljim sušnim razdobljima tijekom ljeta te većim količinama oborina tijekom jeseni, zime i u proljeće (Biondić *et al.*, 2006).

2.2. Hidrološki model baziran na povratnoj neuronskoj mreži

U ovome istraživanju hidrološki model baziran na umjetnoj neuronskoj mreži temelji se na korištenju LSTM arhitekture zbog prednosti u radu s dužim nizovima vremenski zavisnih podataka. U svrhu što boljih predviđanja testirane su dvije varijacije predloženog modela. Kod prve varijante ulazni podaci u LSTM model sastoje se isključivo od meteoroloških parametara (Slika 2. - narančasti kružići), dnevne oborine (P_t), srednje dnevne temperature zraka (T_t), visine snijega (SD_t) te dnevnom postotku sliva pokrivenog snijegom određenog na temelju daljnjski opaženih MODIS Snow cover podataka (SCA_t). Oborine, srednja dnevna temperatura te visina snijega mjereni su na postajama Babno Polje i Kočevje (Slovenija) te Parg, vrelo Ličanke i Ogulin (Hrvatska), te se sastoje od niza od 20 prethodnih dana mjerenja.

Kod druge varijante modela, spomenutim meteorološkim podacima, dodaje se uzvodno mjereni protok na rijeci Kupici (Q_t) (Slika 2. - plavi kružić), također 20 dana mjerenja. Arhitektura neuronske mreže je u oba slučaja identična, te ga čini ulazni višeslojni LSTM (eng. multi - layer) sa dva puta po 256 neurona (2 nanizana LSTM sloja sa po 256 neurona), te jednog skrivenog višeslojnog LSTM - a sa dva puta po 128 neurona (2 nanizana LSTM sloja sa po 128 neurona), dok oba multi - layer LSTM - a sloja prate *TanH* (tangens hiperbolični) aktivacijske funkcije. Nakon druge *TanH* funkcije slijede četiri skrivena linearna (FC) sloja sa redom 128, 64 i 16 neurona, te izlazni sloj (FC_4) sa jednim neuronom, koji daje predviđanje protoka jedan vremenski korak (1 dan) unaprijed. Nakon prva tri linearna sloja slijede *ReLU* aktivacijske funkcije. Sa ciljem poboljšanja performansi same neuronske mreže ispitane su različite arhitekture mreže (više - manje LSTM i linearnih slojeva), konfiguracije pojedinih slojeva (različit broj neurona u pojedinom sloju) te kombinacije aktivacijskih funkcija nakon svakog sloja, no predložena konfiguracija pokazala se kao najefikasnija kada se u obzir uzme potrebno vrijeme za trening, ali i točnost rezultata koje može dati.



Slika 2. Shema unutarnje arhitekture LSTM modela

Ovisno o varijanti modela, ulazni podaci sastoje se od 16, odnosno 17 značajki, te jedne izlazne, protok na rijeci Kupi (postaja Ladešić Draga). Sama kalibracija (trening) neuronske mreže provodi se na podacima za vremenski period od 31. siječnja 2010 do 31. prosinca 2014., dok se performanse modela testiraju te ocjenjuju (validiraju) na periodu od 1. siječnja 2015. do 31. prosinca 2017. Korištenjem naprednih Python knjižnica poput PyTorch i PyTorch Lightning omogućeno je korištenje grafičke kartice (GPU) za brži trening i rad sa tenzorima te napredne značajke treninga nazivom „*early_stop_callback*“ koja omogućuje optimalan trening, na način da zaustavlja model u trenutku kada ne dolazi do smanjivanja funkcije pogreške na podacima za validaciju. Posljedica je postizanje „idealnog“ stanja, odnosno točnosti modela, bez pretjeranog prilagođavanja setu podataka za trening (eng. *overfitting*), što nepovoljno utječe na rezultate na nepoznatom setu podataka za testiranje. Kao set za testiranje performansi odabran je vremenski period od 1. siječnja 2018. do 31. prosinca 2019. godine.

Osnovna statistička analiza podataka provedena je i prikazana u Tablici 1. te se sastoji od broja ulaznih podataka, aritmetičke sredine niza, standardne devijacije niza, minimalnih i maksimalnih vrijednosti te percentila. Analiza je provedena za hidrološke podatke, odnosno protoke na Kupi za postaju Ladešić Draga (*Kupa LD*), i Kupici za postaju Brod na Kupi, i podatke o oborinama (- *p*), temperaturama zraka (- *t*), visinama snijega (- *sd*) i površinom sliva pod snijegom opaženu satelitski (*sca - perc*). Svi podaci dani su u dnevnom koraku, te je modeliranje provedeno na dnevnoj bazi.

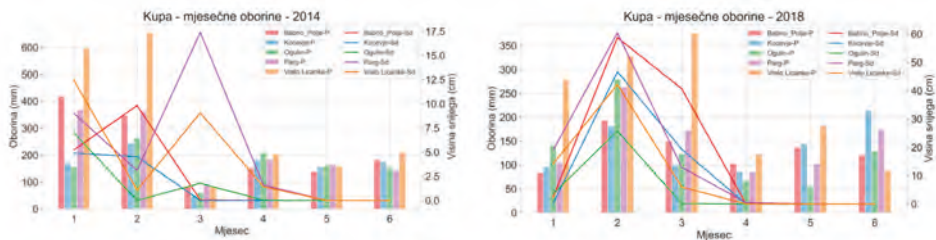
Tablica 1. Osnovna statistička analiza korištenih ulaznih podataka

	Kupa LD	Babno Polje - p	Kočevje - p	Ogulin - p	Parg - p	Vrelo Ličanke - p	Babno Polje - t	Kočevje - t	Ogulin - t	Parg - t	Vrelo Ličanke - p
Br. Podataka	3.652	3.652	3.652	3.652	3.652	3.652	3.652	3.652	3.652	3.652	3.652
Ar. Sred.	56,31	4,70	4,18	4,49	5,23	7,16	7,60	9,68	11,37	8,73	8,67
St. Dev.	80,03	11,25	9,66	10,17	12,03	17,80	7,99	7,94	8,16	7,86	7,42
Min	3,83	0	0	0	0	0	-18,60	-13,60	-14,70	-14,50	-13,80

	Kupa LD	Babno Polje - p	Kočevje - p	Ogulin - p	Parg - p	Vrelo Ličanke - p	Babno Polje - t	Kočevje - t	Ogulin - t	Parg - t	Vrelo Ličanke - p	
Percentil 25 %	13,70	0	0	0	0	0	1,50	3,30	5,30	2,90	3,00	
Percentil 50 %	25,90	0	0	0	0	0	8,00	10,30	11,90	9,00	8,90	
Percentil 75 %	58,85	3,40	3,00	3,50	3,90	4,60	14,10	16,20	17,90	14,80	14,80	
Max	706,00	121,20	109,50	93,70	123,00	187,00	25,20	27,00	30,10	27,00	24,40	
	Babno Polje - sd	Kočevje - sd	Ogulin - sd	Parg - sd	Vrelo Ličanke - sd	sca_ perc	Kupica Brod na Kupi					
Br. Po- dataka	3.652	3.652	3.652	3.652	3.652	3.652	3.652					
Ar. Sred.	4,87	3,19	3,26	5,83	4,92	20,43	13,00					
St. Dev.	13,78	10,79	10,08	13,49	12,87	25,18	17,38					
Min	0	0	0	0	0	0	1,43					
Percentil 25 %	0	0	0	0	0	1,61	3,26					
Percentil 50 %	0	0	0	0	0	7,25	6,45					
Percentil 75 %	0	0	0	3	0	33,17	13,90					
Max	132,00	115,00	83,00	108,00	90,00	99,70	142,00					

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Odabir hidroloških događaja proveden je na temelju analize srednjih dnevnih protoka na hidrološkim postajama Kupica, Brod na Kupi i Kupa, Ladešić Draga te podataka o dnevnim količinama oborina i visinama snijega na meteorološkim postajama koje su najbliže izvorišnom dijelu sliva rijeke Kupe: Vrelo Ličanke, Parg i Babno Polje. Analizirani su hidrogrami otjecanja s posebnom pažnjom na prikaz visina snijega, zbog težnje za odabirom mjerodavnih događaja kada dolazi do otapanja značajnih količina snijega, bez utjecaja kiše ili s minimalnim utjecajem tekućih oborina na otjecanje. Prema spomenutim kriterijima, odabrani su hidrološki događaji iz veljače 2014. i veljače 2018. godine.



Slika 3. Sumarne mjesečne oborine i prosječne visine snijega - 2014. (lijevo) i 2018. (desno)

Iz prikaza sumarnih mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih visina snijega na odabranim meteorološkim postajama uočava se da se glavina topljenja snijega na dva odabrana događaja najčešće odvija tokom veljače i ožujka. Posebice kod događaja iz 2018. godine može se uočiti da je značajna količina oborina u obliku kiše. Situacija kod događaja iz 2014. je suprotna, gdje se uočava posebice za postaje Parg i Vrelo Ličanke, značajan porast visine snijega, dok se sa slovenske strane gotovo sav snijeg otopio, uz manje količine novih oborina u obliku kiše.

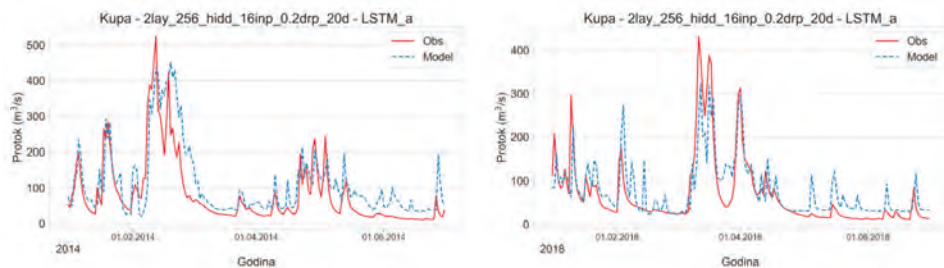
3.1. Model baziran na meteorološkim podacima

Rezultati modeliranja prikazani su rezultirajućim hidrogramom otjecanja (Slika 4.) za odabrani hidrološki događaj te odabranim statističkim mjerama ocjene modela (Tablica 2.). Kao relevantni statistički pokazatelji odabrani su u hidrologiji uobičajeni pokazatelji ocjene točnosti modela, Nash - Sutcliffe efficiency (NSE) (Nash & Sutcliffe, 1970), Kling - Gupta efficiency (KGE) (Gupta *et al.*, 1998, 2009), koeficijent determinacije (R^2) i postotna pristranost (PBIAS) (Gupta *et al.*, 1999).

Tablica 2. Rezultati modeliranja - V1 model bez uzvodnog protoka

	Veljača 2014.	Veljača 2018.
NSE (-)	0,533	0,640
KGE (-)	0,550	0,599
R^2 (-)	0,686	0,659
PBIAS (%)	35,532	15,940

Iz rezultata ocjene točnosti modela prema statističkim pokazateljima (Tablica 2), uočljive su osrednje performanse modela sa ulaznim podacima bez uzvodnog protoka, odnosno modeli se najviše mogu smatrati dostatnima, ako usporedimo sa sličnim istraživanjima (D. N. Moriasi *et al.*, 2007). Vizualna interpretacija hidrograma (Slika 4) daje nešto bolju sliku, no i dalje uočavamo podejnjivanje maksimalnih protoka, posebice tokom događaja iz 2018. godine, a prenaplašavanje baznog dotoka kod oba hidrološka događaja. Također, model daje nešto dulje vrijeme trajanja velikih protoka za vrijeme događaja iz 2014. godine, dok 2018. nema takvih odstupanja. U veljači 2018. uočava se značajno prenaplašavanje protoka (3 vršna protoka), dok sličnu situaciju uočavamo samo krajem lipnja 2014. (jedan manji vršni protok).



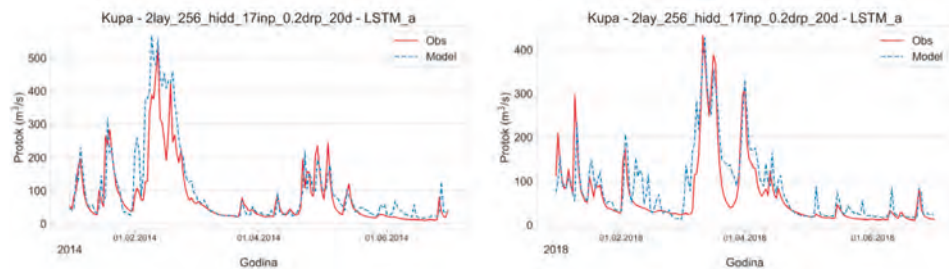
Slika 4. Hidrogrami - P, T, SD, SCA - mjereni (obs) i modelirani (model) protoci - Ladešić Draga - 2014. (lijevo) i 2018. (desno)

3.2. Model baziran na meteorološkim podacima te uzvodnom protoku

Rezultati modeliranja sa uključenim uzvodnim protokom na Kupici statistički su ocijenjeni u Tablici 3, dok su pripadajući hidrogrami otjecanja za identična dva događaja iz 2014. i 2018. godine prikazani na Slici 5. Ocjene točnosti modela generalno gledano, u istom su rasponu kao i za modele bez uzvodnog protoka, te se mogu smatrati dostatnima. Opet, nešto bolje rezultate iščitavamo iz pripadajućih hidrograma otjecanja.

Tablica 3. Rezultati modeliranja - V2 model sa uzvodnim protokom

	Veljača 2014.	Veljača 2018.
NSE (-)	0,607	0,623
KGE (-)	0,651	0,553
R ² (-)	0,787	0,670
PBIAS (%)	31,887	30,478



Slika 5. Hidrogrami - P, T, SD, SCA, Q - mjereni (obs) i modelirani (model) protoci - Ladešić Draga - 2014. (lijevo) i 2018. (desno)

U ovom slučaju kod oba hidrološka događaja uočavamo znatno bolje performanse modela u opisivanju baznih dotoka, gdje je precjenjivanje protoka od strane modela nešto niže nego kod modela varijante 1. Kod usporedbe volumena vodnog vala i predviđanja

vršnih protoka, performanse su uglavnom vrlo slične kao kod modela varijante 1, gdje se ne koristi uzvodni protok kao ulazni parametar. Ponavlja se situacija gdje u veljači 2018. model (Slika 5. - desno) daje previsoke vršne protoke, uz ponavljanje odstupanja na nekoliko manjih vršnih protoka tokom svibnja i lipnja. Kod događaja iz 2014. uočava se prerani porast vršnog protoka (Slika 5. - lijevo) kod otjecanja uzrokovanog otapanjem snijega (početak veljače).

Iz rezultata modeliranja hidroloških događaja uzrokovanih otapanjem većih količina snijega na gornjem slivu Kupe vidljive su osrednje performanse modela baziranih na umjetnim neuronskim mrežama te LSTM arhitekturi. Valja napomenuti da se loše statistički ocjene mogu pripisati vrlo kratkom periodu promatranja (pola godine) kao i fokusiranju na ocjenu tokom jednog hidrološkog događaja, dok su modeli uobičajeno kalibrirani (trenirani) na podacima više godina, te shodno tome, model ima svoje prednosti u predviđanju na razini cijele hidrološke ili kalendarske godine.

Dodavanje uzvodno mjereno protoka, svakako doprinosi boljem predviđanju malih voda (baznog dotoka), što je očekivano, jer isključivo meteorološki podaci poput visine oborina i snijega kao i postotak površine sliva pod snijegom za veliku većinu dana u godini iznose 0. Samim time neuronska mreža na temelju iste vrijednosti, treba predviđati različite, iako rasponom vrlo male, vrijednosti baznog toka, što generira određenu pogrešku. Zbog toga je preporučljivo kao dodatan parametar s ciljem postizanja boljih performansi modela koristiti uzvodna mjerenja, ukoliko postoje podaci na manjim pritokama ili izvorima.

ZAKLJUČAK

Ovim radom prikazane su mogućnosti modeliranja hidrograma otjecanja u periodu otapanja snijega uzrokovanih otapanjem većih količina snijega na gornjem dijelu sliva rijeke Kupe do hidrološke postaje Ladešić Draga. Izrađene su dvije varijante hidrološkog modela, jedan pokretan isključivo meteorološkim podacima, visinama oborina, srednjim dnevnim temperaturama zraka, visinom snijega te postotkom površine sliva pod snijegom, a drugi sa istim meteorološkim parametrima te dodatno, uzvodno mjerenim protokom na rijeci Kupici.

Sa ciljem poboljšanja rezultata izrađeno je nekoliko arhitektura te konfiguracija neuronske mreže, a prikazanom varijantom modela, dobiveni su najtočniji rezultati te je zbog toga i prikazana u ovome radu. Kombiniranjem dodatnih ulaznih podataka, primjerice vrijednostima evapotranspiracije, prethodne vlažnosti tla ili razinama podzemne vode na piezometrima dodatno bi se modelu pružile informacije vezane za bolje predviđanje baznog dotoka (informacije o infiltraciji), a samim time potencijalno doprinijelo točnosti predviđanja otjecanja na planinskim slivovima.

LITERATURA

- [1] Anderson, M. G. & Burt, T. P., (1985), *Hydrological forecasting*, John Wiley & Sons, Chichester, United States, 604 p.
- [2] Berbić, J., (2017), *A MODEL OF WATER RESOURCES SYSTEMS MANAGEMENT BY USING THE SUPERVISED LEARNING FORECASTING*, University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering.

- [3] Berbić, J., Ocvirk, E., Oskoruš, D. & Vujnović, T., (2017): Calibration of supervised learning models using model parameters optimization algorithms, p. 73-80.
- [4] Biondić, B. & Biondić, R., (2014): *Hidrogeologija dinarskog krša u Hrvatskoj*, Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet, Zagreb, Hrvatska, 341 p.
- [5] Biondić, B., Biondić, R. & Kapelj, S., (2006): Karst groundwater protection in the Kupa River catchment area and sustainable development, *Environmental Geology*, vol. 49, n°6, p. 828-839.
- [6] Bonacci, O. & Andrić, I., (2010): Impact of an inter - basin water transfer and reservoir operation on a karst open streamflow hydrological regime: an example from the Dinaric karst (Croatia), *Hydrological Processes*, vol. 24, n°26, p. 3852-3863.
- [7] Čanjevac, I., (2013): Tipologija protočnih režima rijeka u Hrvatskoj, *Hrvatski Geografski Glasnik*, vol. 75, n°1, p. 23-42.
- [8] D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel & T. L. Veith, (2007): Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations, *Transactions of the ASABE*, vol. 50, n°3, p. 885-900.
- [9] Franciskovic - Bilinski, S., Bhattacharya, A. K., Bilinski, H., Bhaskar, D. B., Mitra, A. & Sarkar, S. K., (2012): Fluvial geomorphology of the Kupa River drainage basin, Croatia: A perspective of its application in river management and pollution studies, *Zeitschrift fur Geomorphologie*, vol. 56, n°1, p. 93-119.
- [10] Gupta, H. V., Sorooshian, S. & Yapo, P. O., (1998): Toward improved calibration of hydrologic models: Multiple and noncommensurable measures of information, *Water Resources Research*, vol. 34, n°4, p. 751-763.
- [11] Gupta, H. V., Sorooshian, S. & Yapo, P. O., (1999): Status of Automatic Calibration for Hydrologic Models: Comparison with Multilevel Expert Calibration, *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 4, n°2, p. 135-143.
- [12] Gupta, H. V, Kling, H., Yilmaz, K. K., Martinez, G. F. & Kling, H., (2009): Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling, *Journal of Hydrology*, vol. 377, p. 80-91.
- [13] Haykin, S., (2005): *Neural Networks - A Comprehensive Foundation*, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada, 823 p.
- [14] Leskovar, K., (2022): *Increase of hydrological model skill for the mountainous basins by integration of remote sensing data*, University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering.
- [15] Nash, J. E. & Sutcliffe, J. V., (1970): River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, vol. 10, n°3, p. 282-290.
- [16] Pandžić, K., Kobold, M., Oskoruš, D., Biondić, B., Biondić, R., Bonacci, O., Curić, O., (2020): Standard normal homogeneity test as a tool to detect change points in climate-related river discharge variation: case study of the Kupa River Basin, *Hydrological Sciences Journal*, vol. 65, n°2, p. 227-241.

- [17] Schmidt, R. M., (2019): Recurrent Neural Networks (RNNs): A gentle Introduction and Overview.
- [18] Sit, M., Demiray, B. Z., Xiang, Z., Ewing, G. J., Sermet, Y. & Demir, I., (2020): A Comprehensive Review of Deep Learning Applications in Hydrology and Water Resources, *arXiv*.
- [19] Sušanĳ, I., Ožanić, N. & Marović, I., (2016): Methodology for developing hydrological models based on an artificial neural network to establish an early warning system in small catchments, *Advances in Meteorology*, vol. 2016, .
- [20] Xu, C., (2002): *Hydrologic Models (Lärobok i Avrinningsmodeller)*, Uppsala University, 168 p.
- [21] Zhu, S., Bonacci, O., Oskoruš, D., Hadzima - Nyarko, M. & Wu, S., (2019): Long term variations of river temperature and the influence of air temperature and river discharge: case study of Kupa River watershed in Croatia, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, vol. 67, n°4, p. 305-313.

AUTORI

dr. sc. Karlo Leskovar^a

doc. dr. sc. Oskoruš, Dijana^a

Lucija Plantak, mag. ing. amb.^a

izv. prof. dr. sc. Hrvoje Meaški^a

^a Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, Varaždin, 42000; Hrvatska, karlo.leskovar@gfv.unizg.hr, dijana.oskorus@gfv.unizg.hr, lucija.plantak@gfv.unizg.hr, hrvoje.measki@gfv.unizg.hr



R 1.17.

ISTRAŽIVANJA LOMA SEDRENE BARIJERE NA MILINOM JEZERU U NP PLITVIČKA JEZERA

**Igor Ružić, Maja Radišić, Duje Kalajžić, Andrijana Brozinčević,
Nikola Markić, Kazimir Miculinić, Andrea Tadić, Josip Rubinić**

SAŽETAK: Rast sedrenih barijera je prirodan proces koji se odvija sporom dinamikom. Nasuprot tome može doći do skokovitih promjena u vidu pucanja, odlamanja i erozije sedrenih barijera, praćenih značajnijim morfološkim promjenama geometrije jezerskog sustava. Nakon izrazito snježne zime, krajem ožujka 2018. došlo je do odlamanja dijela sedrene barijere na Milinom jezeru u Nacionalnom Parku Plitvička Jezera.

Neposredno prije loma barijere na hidrološkoj postaji Kozjak zabilježena su dva uza-stopna vodena vala protoka $18,2 \text{ m}^3/\text{s}$ i $18,4 \text{ m}^3/\text{s}$, što odgovara desetgodišnjem povratnom periodu. Nakon loma dijela barijere, uspostavljena su hidrološka mjerenja uzvodno od nje. Analizirane su promjene nastale spomenutim lomom, te je uspostavljen monitoring daljnjih promjena korištenjem trodimenzionalnih oblaka točaka snimljenih 3D skenerom (FARO Focus 3D-X130), fotoaparatom i bespilotnom letjelicom (DJI Phantom 4 Pro).

Usporedbom provedenih snimanja i Lidar snimka Nacionalnog parka Plitvička jezera, utvrđene su dimenzije odlomljenog dijela sedrene barijere. Površina odlomljenog dijela barijere je oko 100 m^2 u poprečnim i do 35 m^2 u uzdužnim presjecima.

Analizirano je 13 trodimenzionalnih oblaka točaka, snimljenih od 2018. do 2022. godine. Usporedbom relevantnih uzdužnih i poprečnih presjeka nisu uočeni tragovi daljnje degradacije. U radu su analizirane klimatološke i hidrološke prilike koje su izazvale morfološke promjene sedrene barijere.

KLJUČNE RIJEČI: Plitvička jezera, Sedra, Barijera, Monitoring

INVESTIGATIONS OF THE TRAVERTINE BARRIER COLLAPSE AT MILINO JEZERO IN PLITVICE LAKES NATIONAL PARK

ABSTRACT: The growth of travertine barriers is a natural process that takes place at a slow pace. On the other hand, there can be sudden changes in the form of cracking, chipping, and erosion of travertine barriers, accompanied by more significant morphological changes in the geometry of the lake system. After a particularly snowy winter at the end of March 2018, a part of the travertine barrier on Milino Jezero, one of the lakes in the Plitvice Lakes National Park, broke off.

Immediately before the break of the barrier, two consecutive high water waves with a flow rate of 18.2 m³/s and 18.4 m³/s were recorded at the Kozjak hydrological station, corresponding to a ten-year return period. After the break of the barrier part, hydrological measurements were established upstream of it. The changes caused by the aforementioned fracture were analysed, and the monitoring of further changes was established using three-dimensional point clouds recorded with a 3D scanner (FARO Focus 3D-X130), a camera and a drone (DJI Phantom 4 Pro).

The dimensions of the broken part of the travertine barrier were determined by comparing the recordings and the Lidar image of the Plitvice Lakes National Park. The area of the broken barrier part is about 100 m² in cross sections and up to 35 m² in longitudinal sections.

13 three-dimensional point shapes, recorded in 2018 - 2022, were analysed. By comparing the relevant longitudinal and transverse sections, no traces of further degradation were observed. The paper analyses the climatological and hydrological conditions that caused the morphological changes of the travertine barrier.

KEY WORDS: Plitvice Lakes, Travertine, Barrier, Monitoring

1. UVOD

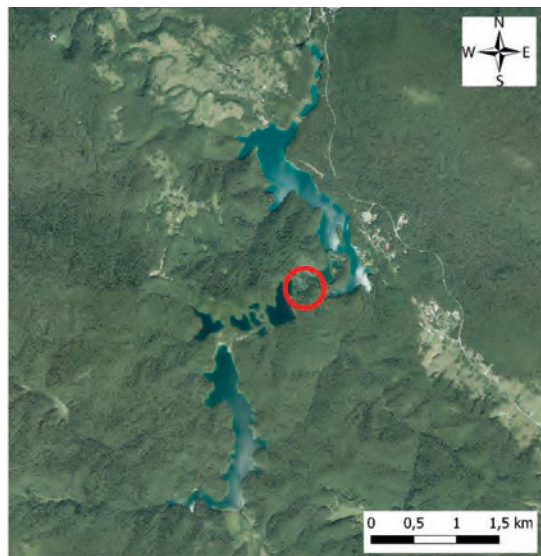
Područje Plitvičkih jezera sastoji se od ukupno 16 jezera nastalih u gornjem dijelu sliva rijeke Korane zbog rasta sedrenih barijera. Većinom su formirana na dolomitnim vapnencima trijasa, a djelomično u vapnencima kredne i jurske starosti. To je vrlo osjetljiv krški ekosustav, gdje mali poremećaj prouzročen prirodnim ili antropogenim djelovanjem može imati velike i dugotrajne posljedice.

U ovom radu su prezentirani rezultati istraživanja Građevinskog fakulteta u Rijeci i Nacionalnog parka Plitvička jezera (Građevinski fakultet, 2021; Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2020a, 2020b; Radišić i drugi, 2021).

Rast i erozija sedrenih barijera, kao i sedimentacija u njima formiranim zajezerenim sustavima, prirodan su proces koji se uglavnom odvija sporom dinamikom (u recentno vrijeme do oko 1 cm godišnje).

Rast barijera je uglavnom brži od procesa sedimentacije jezerskih prostora, pa se u jezerskom sustavu povećavaju dubine. Na dinamiku erozije sedrenih barijera u sve većoj mjeri djeluju, uz povećanje hidrostatskih pritisaka i hidrodinamički utjecaji voda koje se prelijevaju preko najvitkijih dijelova barijera. Zbog toga može doći do skokovitih promjena u vidu pucanja, odlamanja i erozije sedrenih barijera, praćenih značajnijim morfološkim promjenama geometrije jezerskog sustava, kao i njime izazvanim promjenama niza abiotičkih i biotičkih čimbenika. U slučajevima naglih rušenja visokih barijera dolazi i do migracija i pokretanja jezerskog sedimenta.

Iako su povremena urušavanja sedrenih barijera prirodan proces, radi se o promjenama koje naglo mijenjaju morfologiju jezerskog sustava, ali i vizure, a što zbog iznimne turističke posjećenosti Plitvičkih jezera nije poželjna situacija. Krajem ožujka i početkom travnja 2018. godine došlo je do djelomičnog urušavanja sedrene barijere na Milinom jezeru (slika 1). Posljedica toga je smanjenje razine vode u spomenutom Milinom jezeru, izostanku prelijevanja po glavnini krune sedrene barijere (slika 2b), te koncentriranog istjecanja na odlomljenom dijelu barijere (slika 2a).



Slika 1. Prikaz područja istraživanja sedrene barijere na Milinom jezeru



Slika 2. Odlomljena barijera (a) i presušene barijere na Milinom jezeru (b)

2. METODOLOGIJA

U razdoblju od 22. svibnja 2019. do 14. studenog 2019. godine, uspostavljeno je kontinuirano praćenje razina vode, električne vodljivosti i temperature vode u Milinom jezeru putem automatskog mjerača CTD Divera. Provedena su dva vodomjerenja istjecanja iz Milinog jezera tijekom 2018. godine, te pet vodomjerenja tijekom 2019. godine, kako bi se detektirale eventualne promjene međuodnosa razina i protoka kao indikatora progresije u eroziji barijera.

Analiza nastalih promjena na barijeri Milinog jezera provela se usporedbom trodimenzionalnih oblaka točaka snimljenih metodama daljinskog istraživanja. Korišteno je više tehnologija snimanja s ciljem usporedbe njihovih rezultata u specifičnim uvjetima NP Plitvička jezera. Provođenje daljinskih istraživanja na području Plitvičkih jezera izrazito je složeno zbog utjecaja vegetacije, vremenskih prilika i složenog terena.

Monitoring nastalih promjena provodi se kroz pet faza:

1. Označavanje i geodetsko snimanje mreže kontrolnih točaka (engl. Ground Control Points) - GCP,
2. Snimanje trodimenzionalnih oblaka točaka (bespilotnom letjelicom i/ili laserskim 3D skenerom),
3. Georeferenciranje snimljenih oblaka točaka i ortofoto snimaka na mrežu kontrolnih točaka,
4. Obrada snimljenih oblaka točaka,
5. Analiza nastalih promjena na oblacima točaka i ortofoto snimkama.

Trodimenzionalni oblak točaka snimljen 3D skenerom FARO Focus 3D-X130, obrađen je i georeferenciran u programima FARO SCENE (<https://www.faro.com/products/product-design/faro-scene/>) i CloudCompare (<http://www.danielgm.net/cc/>) na osnovi geodetske snimke. Geodetsko snimanje kontrolnih točaka (GCP) za georeferenciranje modela proveo je Geodetski Zavod Rijeka (GZR) u suradnji s Građevinskim fakultetom Sveučilišta u Rijeci.

Na osnovu fotografija snimljenih digitalnim fotoaparatom SONY RX100 V (<https://www.sony.hr/electronics/cyber-shot-kompaktni-fotoaparati/dsc-rx100m5>) u kombinaciji s kamerom bespilotne letjelice, izrađen je trodimenzionalni oblak točaka. Generiran je fotogrametrijom Structure-from-Motion (SfM) u programu Agisoft Metashape (<https://www.agisoft.com/>), a obrađen i georeferenciran u programu CloudCompare.

U tablici 1 dat je pregled snimljenih područja kroz provedena mjerenja i korištenu tehnologiju snimanja, te su prikazana provedena mjerenja u od 11. listopada 2018. do 8. veljače 2022. godine. Mjerenjima su pokrivena različita područja oko Milinog jezera. U prvom i drugom mjerjenju nastojalo se snimiti presušene barijere Milinog jezera. Nakon trećeg mjerjenja, uspostavljen je monitoring promjena na samom jezeru i odlomljenoj barijeri, a u tablici 1 prikazani su profili u kojima su kasnije analizirane promjene. Analize nastalih promjena primarno su provedene na profilima šireg područja (tablica 1, slika 4), a nakon toga su analizirane promjene profila same barijere (slika 4).

Tablica 1. Prikaz provedenih mjerenja i snimljenih područja

Mjerenje	1	2	3	4	5	6	7
Datum	11.10.2018.	25.10.2018.	6.11.2018.	14.6.2019.	14.11.2019.	5.3.2021.	8.2.2022.
3D SCAN							
SfM "iz ruke"							
SfM UAV							

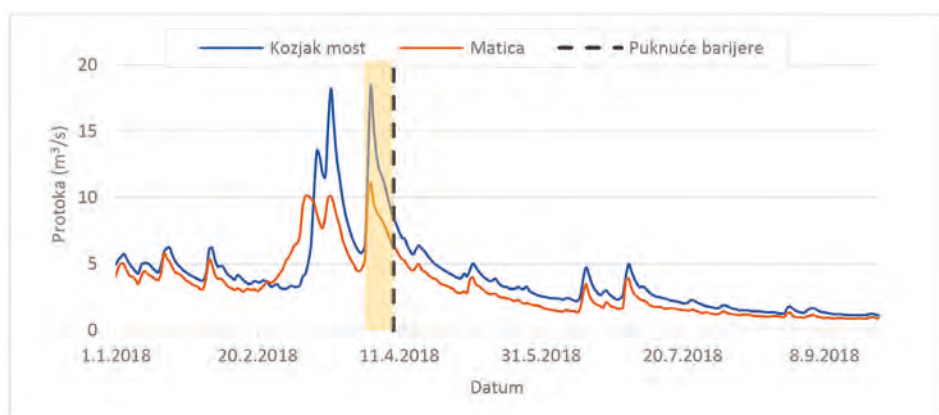
U sklopu projekta provedena je i analiza hidroloških prilika koje su potaknule eroziju barijera. Korišteni su podaci s hidrološke mreže postaja DHMZ-a, te podaci monitoringa koji je uspostavljen u okviru predmetnog programa praćenja stanja Milinog jezera. Od strane stručne službe Nacionalnog parka, od 11. travnja 2018. godine, na novo uspostavljenoj mjernoj letvi periodički su praćeni podaci o razinama vode u Milinom jezeru.

Osnovna mehanička svojstva sedre determinirana su na osnovi standardnih ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće i vlačne čvrstoće cijepanjem (Brazilska metoda) na uzorcima sedre oblika valjka. Zabilježen je i oblik sloma ispitnog uzorka jer uvelike utječe na vrijednosti čvrstoće.

3. REZULTATI

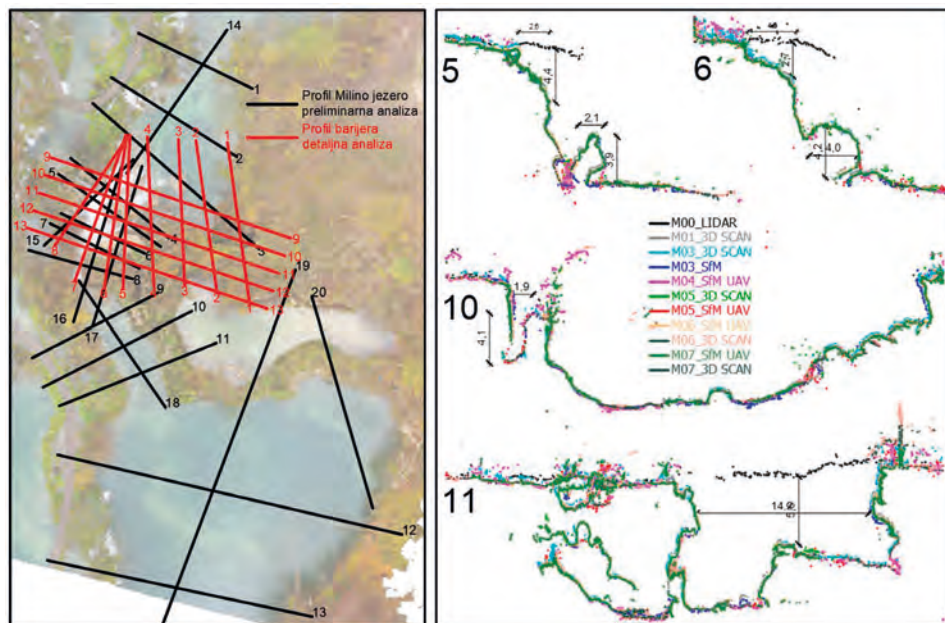
Za razdoblje od siječnja do rujna 2018. godine, na slici 3 prikazane su protoke na Matici i na izlazu iz jezera Kozjak, te je označen zadnji veliki lom barijere dana 9. travnja 2018. godine. Također, na slici je markirano razdoblje u kojemu je zamijećeno puknuće barijere Milinog jezera.

Dana 18. ožujka 2018. došlo je do velikog vodnog vala vršne protoke od 18,2 m³/s na postaji Kozjak - a takve velike vode prethodno nisu zabilježene čak od 1976. godine. Nakon samo 14 dana (1. travnja 2018.) ponovno je došlo do pojave velikog vodnog vala vršne protoke od 18,4 m³/s na postaji Kozjak. Kao posljedica protjecanja tih čak dvaju izrazito velikih vodnih valova u kratkom razdoblju od svega 15 - tak dana, došlo je najprije do puknuća, a onda i do loma, te inicijalne jake erozije barijere na Milinom jezeru, nakon čega su se promijenili uvjeti istjecanja i protjecanja u njemu, a samo jezero drastično je smanjilo volumen.



Slika 3. Hod kolebanja srednjih dnevnih protoka na odabranim hidrološkim postajama na području Plitvičkih jezera, s markiranim razdobljem tijekom kojeg je uočen lom barijere Milinog jezera

Na osnovi snimljenih oblaka točaka i Lidar snimaka područja NP-a Plitvička Jezera analizirane su promjene na području Milinog jezera. Primarno su analizirane promjene dvadeset profila šireg područja. Zabilježene su promjene oko odlomljene barijere, gdje su provedene analize još trinaest dodatnih profila (slike 4 i 5).

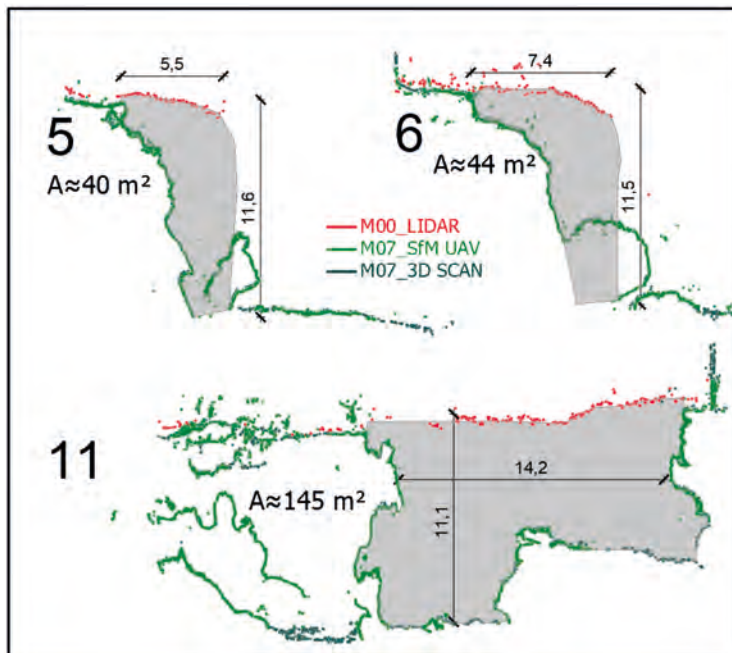


Slika 4. Analizirani profili i rezultati provedenih mjerenja u pojedinim presjecima

Na slikama 4 i 5 prikazani su poprečni presjeci 5, 6, 10 i 11. Na svim poprečnim presjecima vidljivo je dobro poklapanje svih mjerenja na fiksnim dijelovima snimljene scene. Manje nepreciznosti nastale su kod mjerenja 3, SfM „iz ruke“, zbog nemogućnosti adekvatnog pristupa barijeri i nepovoljnog kuta snimanja. U profilima 5, 6 i 11 zabilježene su razlike nastale lomom barijere, to su razlike između Lidar snimka (M00_Lidar) i ostalih snimaka.

Na slici 5 prikazane su procjene odlomljenih površina barijere. Usporedbe su temeljene na Lidar snimci koja pokriva samo gornji dio barijere, donji dio je procijenjen na osnovi oblika susjednih profila.

U profilima 5 i 6 nastale promjene lomom barijere su oko 40 odnosno 45 m². Odlomljena je barijera u širini od oko 8 metara. U presjeku 11 odlomljeno je oko 145 m² barijere, širina odlomljenog dijela je oko 14,5 metara.



Slika 5. Promjene morfologije barijere, profili 5, 6 i 11

Ispitivanje uzoraka sedre (tlačne i vlačne čvrstoće i modula elastičnosti) pokazalo je veliko rasipanje rezultata, što je vrlo često kod sedrenih materijala zbog nehomogenosti njezine strukture.

Utvrđeno je i da je barijera Milinog jezera vrlo nehomogenog presjeka, s vrlo velikom kavernom dimenzija prohodnog speleološkog objekta, i s vrlo nepovoljnim oblikom presjeka gdje je naglašena vrlo značajna potkapina. Snimanjem morfologije barijere Milinog jezera primjenom fotogrametrijskih snimaka i 3D skeniranja (TLS) te njihovom kombinacijom sa Lidar snimkom iz razdoblja koje je prethodilo lomu barijere, utvrđeno je da se vrlo izražena potkapina pruža duž većeg dijela njegove barijere, te da je i ranije u povijesti dolazilo do lomova i rušenja drugih dijelova te barijere.

Ocjena stabilnosti sedrenih barijera provedena je korištenjem trodimenzionalnog numeričkog modela. Modeli su analizirani na djelovanje vlastite težine i statičko djelovanje vode s uzvodne i nizvodne strane, te za slučaj da se na nizvodnom jezeru maksimalno snizi vodno lice (u slučaju rušenja barijere na nizvodnom jezeru), što bi bilo uzrokovalo najnepovoljnije opterećenje vodom na analiziranu sedrenu barijeru.

ZAKLJUČAK

Lom i erozija dijela sedrene barijere na Milinom jezeru, koja se je sukcesivno događala krajem ožujka te početkom travnja 2018. godine, promijenila je morfologiju Milinog jezera i izazvala zabrinutost zbog mogućih daljnjih neželjenih promjena. Provedenim hidrološkim analizama utvrđeno je da je lom barijere Milinog jezera koincidirao s izrazito nepovoljnim vodnim prilikama - pojavama dvaju uzastopnih vodnih valova u razmaku od samo dva tjedna, s praktički jednakim vršnim protokom čiji je karakter pojave bio reda veličine oko 20 - godišnjeg povratnog perioda.

Utvrđivanje stanja napredovanja erozijskog procesa provedeno je dvama nezavisnim pristupima - spomenutim fotogrametrijskim pristupom u više različitih situacija, kao i hidrološkim praćenjima promjene konsumpcijskih odnosa na mjestu istjecanja voda iz Milinog jezera. Utvrđeno je da tijekom analiziranog četverogodišnjeg razdoblja nakon loma barijere i početne nagle promjene profila i erozije odlomljenih dijelova barijere, nije došlo do daljnje progradacije erozijskih procesa na tom profilu.

Ispitivanja fizikalnih svojstava kao i mehaničkih svojstava sedre (tlačne i vlačne čvrstoće), provedeno na temelju trideset i sedam uzoraka sedre uzetih na sedam različitih lokacija odlomljenog dijela barijere Milinog jezera, pokazalo je veliku varijabilnost, odnosno nehomogenost svojstava sedre unutar samo jednog dijela jedne barijere.

U ovom radu detaljno su snimljeni oblaci točaka morfologije sedrene barijere Milinog jezera. Takav snimak omogućio je adekvatne analize (ne)stabilnosti barijere tijekom zabilježenog recentnog odlamanja dijela barijere. No, pokazalo se da taj snimak pruža i mogućnost analiza morfoloških promjena barijere koje su ranije dogodile, jer trodimenzi-onalni snimak prikazuje i snimljene dijelove ranije odlomljene barijere.

Lidar snimak NP pokazao se izrazito vrijednim za analizu oblika i stabilnosti barijere prije loma.

LITERATURA

- [1] Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci (2020a): *Monitoring i analiza dinamike erozije sedrene barijere na Milinom jezeru*. Rijeka.
- [2] Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci (2020b): *Monitoring morfoloških promjena toka Korane (od 3. Koranskog slapa do Sastavaka)*. Rijeka.
- [3] Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci (2021): *Monitoring nastalih promjena na području Milinog jezera*. Rijeka.
- [4] Radišić, M.; Rubinić, J.; Ružić, I.; Brozinčević, A. (2021): *Hydrological System of the Plitvice Lakes-Trends and Changes in Water Levels, Inflows, and Losses*. Hydrology, 8, 174. <https://doi.org/10.3390/hydrology8040174>

AUTORI

izv. prof. dr. sc Igor Ružić, dipl. ing. građ. ^a

Maja Radišić, mag. ing. aedif. ^b

Duje Kalajžić ^a

Andrijana Brozinčević, mag. ing. bioproc. ^c

Nikola Markić, dipl. ing. geol. ^c

dr. sc. Kazimir Miculinić, dipl. ing. geol. ^c

Andrea Tadić, mag. ing. aedif. ^a

dr. sc. Josip Rubinić, dipl. ing. građ. ^d

^a Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka 51000, Hrvatska, iruzic@uniri.hr, dkalajzic@uniri.hr, andrea.tadic@uniri.hr

^b MaLu, Pomerio 11, Rijeka, 51000, Hrvatska, maja8radisic@gmail.com

^c Nacionalni park Plitvička jezera, Znanstveno-stručni centar “Dr. Ivo Pevalek”, Josipa Jovića 19, Plitvička Jezera 53231, Hrvatska, andrijana.brozincevic@np-plitvicka-jezera.hr, nikola.markic@np-plitvicka-jezera.hr, kazimir.miculinic@np-plitvicka-jezera.hr

^d GEO-5 d.o.o., Carera 59, Rovinj, 52210, Hrvatska, rubinic.josip@gmail.com



R 1.18.

MODELIRANJE FITOPLANKTONA AKUMULACIJE BUTONIGA

**Goran Volf, Petar Žutinić, Marija Gligora Udovič,
Antonija Kulaš, Perica Mustafić**

SAŽETAK: Akumulacija Butoniga nalazi se u središnjoj Istri te pripada malim i relativno plitkim akumulacijama. Kao takva, jako je osjetljiva na procese degradacije i eutrofikacije uzrokovane kako klimatskim promjenama tako i antropogenim aktivnostima u pripadajućem okolnom slivu. Klorofil-*a*, kao široko primjenjiv ekološki pokazatelj primarne proizvodnje, odnosno brojnosti i biomase fitoplanktona te procesa eutrofikacije u jezerima i akumulacijama, ovisi prvenstveno o dostupnosti hranjivih tvari, pH vrijednosti, svjetlosti, temperaturi, kao i njihovim međuodnosima. U ovome radu, tehnika strojnog učenja za izradu modela u obliku pravila primijenjena je na skup mjerenih podataka u svrhu boljeg razumijevanja procesa eutrofikacije i ekološkog stanja akumulacije Butoniga u središnjoj Istri. Upotrebom alata za strojno učenje izrađen je simulacijski model klorofila-*a* koji služi za predviđanje koncentracije klorofila-*a* s obzirom na promatrane vrijednosti izmjerenih okolišnih čimbenika. Izrađeni model doprinosi boljem razumijevanju ekosustava akumulacije Butoniga, a može se koristiti u svrhu upravljanja akumulacijom.

KLJUČNE RIJEČI: Butoniga, Klorofil-*a*, Strojno učenje, Modeli, Fitoplankton

MODELLING PHYTOPLANKTON IN THE BUTONIGA RESERVOIR

ABSTRACT: The Butoniga reservoir, located in central Istria, is characterized as a small and relatively shallow reservoir. As such, it is very sensitive to degradation and eutrophication processes resulting from climate changes and human activities in the surrounding watershed. Chlorophyll-*a* is a widely applicable ecological indicator of primary production, i.e. abundance and biomass of phytoplankton, and also the eutrophication process in lakes and reservoirs. Chlorophyll-*a* depends on various factors, primarily on the availability of nutrients, pH, light, temperature, as well as their interrelationships. In this paper, the machine learning technique for building models in the form of rules was applied to a set of measured data, aiming to gain a deeper understanding of the eutrophication process and the ecological condition of the Butoniga reservoir in central Istria. Using machine learning tools, a simulation chlorophyll-*a* model was developed to predict chlorophyll-*a* concentration based on the measured values of environmental factors. As such, the model

contributes to a better understanding of the ecosystem of the Butoniga reservoir, and can be used for the reservoir management purposes.

KEYWORDS: Butoniga, Chlorophyll-*a*, Machine learning, Models, Phytoplankton

1. UVOD

Koncentracija klorofila-*a*, kao pokazatelj brojnosti i biomase fitoplanktona u vodenim sustavima, ovisi o fizičkim i kemijskim svojstvima vodenog stupca koji uključuju niz čimbenika poput dostupnosti hranjivih tvari, svjetlosti, pH i temperature, kao i interakcijama između navedenih varijabli (Bernát i sur. 2020). Povećana koncentracija klorofila-*a* u jezerskim ekosustavima predstavlja neposredan biološki odgovor na procese degradacije, povećane primarne produkcije te eutrofikacije koje se odvijaju u akumulacijama i jezerima (Latif i sur. 2003). Samim time klorofil-*a* se može koristiti kao ključni čimbenik prilikom definiranja vanjskih utjecaja na ekosustav jezera, pogotovo opterećenja hranjivim tvarima. Točna simulacija i predviđanje koncentracija klorofila-*a* dio su odgovora na važno pitanje povezano s istraživanjem i upravljanjem jezerskim ekosustavima, budući se klorofil-*a* smatra važnim čimbenikom pri kontroli eutrofikacije jezera (Wang i sur. 2013).

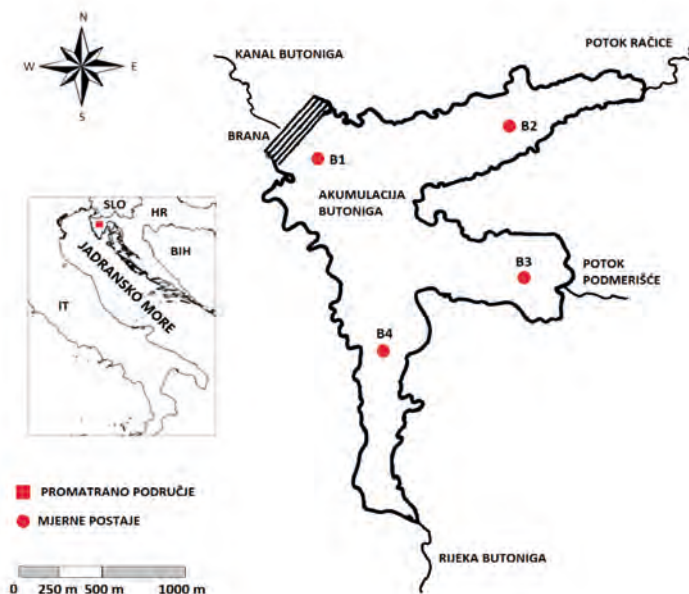
Kvaliteta vode u akumulaciji Butoniga prvenstveno ovisi o godišnjem dobu te količini vode u akumulaciji. Akumulacija je termički stratificirana od travnja do listopada što značajno utječe na fizikalne i kemijske karakteristike vode u akumulaciji. Najveći problem kvalitete vode u akumulaciji povezan je s povećanim koncentracijama hranjivih tvari, prvenstveno fosfora koji ima stimulativni učinak na biološku proizvodnju te na taj način pospješuje procese eutrofikacije. Hranjive tvari najvećim dijelom dotječu u akumulaciju iz slivnog područja, dijelom zbog reduciranih uvjeta u donjim slojevima akumulacije te dijelom iz remobilizacije iz sedimenta (Hajduk Černeha 2017). Iako je veza između klorofila-*a* i hranjivih tvari neporeciva, to je nedovoljno da se donesu odgovarajuće upravljačke odluke s ograničenim količinama podataka, a pouzdanost bilo koje prognoze ograničena je različitim utjecajima na klorofil-*a*, koji su još uvijek relativno nepoznati zbog kompliciranih odnosa unutar jezerskih ekosustava (Wang i sur. 2013).

Cilj istraživanja u ovome radu je izgraditi simulacijski model klorofila-*a* u obliku pravila koji služi za simulaciju klorofila-*a* u akumulaciji s obzirom na promatrane vrijednosti izmjerenih okolišnih varijabli i koji se može koristiti u svrhu upravljanja akumulacijom Butoniga. Kako bi se to postiglo, metode strojnog učenja temeljene na pravilima primijenjene su za izgradnju modela iz skupa podataka prikupljenih istraživanjem akumulacije Butoniga.

2. AKUMULACIJA BUTONIGA

Akumulacija Butoniga (Slika 1) nalazi se u središnjoj Istri te je formirana 1987. godine s dva osnovna cilja: (1) zaštita od štetnog djelovanja voda te (2) vodoopskrba pitkom vodom. Površina sliva akumulacije iznosi otprilike 73 km², s razlikama u nadmorskim visinama od 40 do 500 m n.m. Volumen akumulacije iznosi 19,5 milijuna m³, s vodenom površinom od oko 2,5 km². Srednja dubina akumulacije iznosi 7,5 m dok je maksimalna 17,5 m. Tlo u slivu akumulacije čini pretežno fliš u kojem se izmjenjuju primjese

pješčenjaka, lapora, breča i konglomerata, a koji su skloni eroziji i pogodni su za apsorpciju raznih zagađivala zbog čega dolazi do njihovog taloženja u zaplavnom prostoru akumulacije. Kao mala i relativno plitka, akumulacija je jako osjetljiva na procese eutrofikacije i degradacije prouzročene klimatskim promjenama i ljudskim aktivnostima u slivu akumulacije. Poznati i konvencionalni pritisci u slivu uključuju eroziju i ispiranje hranjivih tvari s poljoprivrednih zemljišta, kao i nepročišćene otpadne vode iz naselja, koja se najčešće kroz crne jame ili kanalizacijsku mrežu dreniraju u akumulaciju (Hajduk Černeha 2017).



Slika 1. Promatrano područje - akumulacija Butoniga sa pozicijama mjernih postaja.

3. SAKUPLJANJE PODATAKA

Set podataka se sastoji od fizikalnih, kemijskih i bioloških čimbenika mjerenih jednom mjesečno od svibnja do listopada/studenog tijekom vegetacijske sezone u razdoblju od 2006. do 2013. godine. Čimbenici su mjereni na svakih 5 metara dubine od površine do dna akumulacije na 4 postaje (B1, B2, B3 i B4; Slika 1). Fizikalno - kemijski čimbenici koji uključuju temperaturu (Temp), pH i koncentraciju otopljenog kisika (DO), mjereni su sa WTW Multi 3630 prijenosnim multimetrom (Xylem Analytics, Njemačka), dok je prozirnost vode (Secchi) procijenjena korištenjem Secchijevog diska. Za kemijsku analizu vode, sljedeći čimbenici mjereni su standardnim analitičkim metodama (ISO TC/147): amonijak ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), kalijev permanganat (KMnO_4), ukupni fosfor (TP) i ortofosfat ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$). Biološki čimbenik klorofil-*a* (Chl-*a*) analiziran je pomoću HACH DR 4000 spektrofotometra (HACH, S.A.D.).

4. MODELI U OBLIKU PRAVILA

Modeli u obliku pravila za numeričku predikciju spadaju u vrstu modela koji se interpretiraju kao set „IF THEN“ pravila, gdje je svako pravilo povezano s multivarijantnim linearnim modelom. Pravilo ukazuje da, kad god pojedini slučaj zadovoljava sve uvjete, linearni model je prikladan za predviđanje vrijednosti ciljnog atributa. Algoritmi za indukciju pravila uglavnom predstavljaju različite varijacije M5 algoritma (Quinlan 1993). Nakon konstrukcije stabla i modela u obliku pravila iz seta podataka za treniranje (učenje), potrebno je procijeniti kvalitetu modela, odnosno točnost predviđanja. To se može učiniti na način da se model simulira na podacima za testiranje i zatim uspoređuje predviđene vrijednosti sa stvarnim vrijednostima. Druga, češće korištena mogućnost je procjena modela koristeći metodu unakrsne validacije. Zadani set podataka (za treniranje modela) podijeli se na odabrani broj dijelova (n) te se svaki dio koristi za unakrsno testiranje, a ostatak ($n-1$ dijelova) za treniranje modela. Konačna pogreška je prosječna pogreška svih modela tijekom cijelog postupka. Veličinu pogreške između stvarnih i simuliranih (predviđenih) vrijednosti moguće je izračunati koristeći nekoliko metoda za procjenu točnosti modela: korijen srednjih kvadratnih grešaka, srednja apsolutna greška, korijen relativnih kvadratnih grešaka, relativna apsolutna greška te koeficijent korelacije (R).

5. METODOLOGIJA IZRADE MODELA

Podaci za izradu modela prikazani su u Tablici 1. Podaci su prethodno obrađeni s obzirom na zadane ciljeve modeliranja i istraživanja. Za izradu modela korišten je cijeli raspon mjerenih podataka na sve četiri mjerne postaje od 2006. do 2013. godine. Za potrebe modeliranja podaci su osrednjeni po dubini, odnosno iznad eufotičke dubine i uzeti kao jedan sloj. Izrađeni model koristi se za simulaciju klorofila- a , te se kao takav može koristiti u svrhu upravljanja akumulacijom Butoniga.

Za izradu modela u radu primijenjen je algoritam za indukciju pravila implementiran u programskom paketu WEKA (Witten i Frank 2000), u kojem je varijacija M5 algoritma (M5P) poboljšana kombiniranjem učenja temeljenog na modelu i učenja temeljenog na primjerima (Quinlan 1993). Prilikom izrade simulacijskog modela klorofil- a je postavljen kao ciljani (zavisna) varijabla, dok su pH, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, KMnO_4 , TP, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, DO, temperatura i prozirnost vode (Tablica 1) postavljeni kao nezavisne varijable (deskriptori) preko kojih se simulira klorofil- a .

Tablica 1. Parametri korišteni za izradu simulacijskog modela fitoplanktona

Simbol	Opis čimbenika	Mjerna jedinica
Chl- a	Klorofil- a	$\mu\text{g/L}$
DO	Koncentracija otopljenog kisika	mgO_2/L
Temp	Temperatura	$^\circ\text{C}$
Secchi	Prozirnost vode	m
pH	pH	/
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	Amonijak	mgN/L

Simbol	Opis čimbenika	Mjerna jedinica
KMnO ₄	Kalijev permanganat	mg/L
TP	Ukupni fosfor	mgP/L
PO ₄ ³⁻ -P	Ortofosfat	mgP/L

Cilj modela je da bude primjenjiv na čitavom promatranom području, odnosno da daje što pouzdaniju simulaciju u odnosu na podatke s ostalih mjernih postaja. Za postizanje navedenog cilja korištena je metoda unakrsne validacije kao najčešća metoda za konstruiranje i testiranje modela. Konačna pogreška prikazana je kao prosječna pogreška svih modela tijekom cijelog postupka izrade modela. Model koji daje najpouzdaniju simulaciju prema metodi unakrsne validacije i koji ima dobru opisnu moć, odabran je kao reprezentativan model klorofila-*a* za promatrano područje. Za provjeru statističke značajnosti, odnosno pouzdanosti modela u eksperimentima korišten je koeficijent korelacije (R) između modeliranih i mjerenih vrijednosti koncentracije klorofila-*a*.

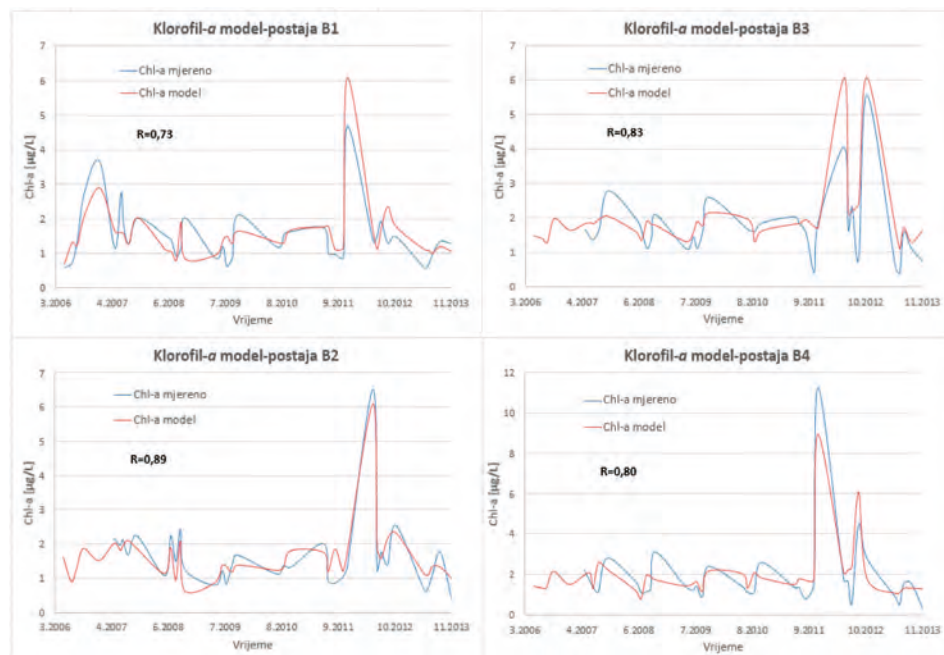
6. REZULTATI I DISKUSIJA

Koeficijent korelacije za odabrani simulacijski model klorofila-*a* (Tablica 2) iznosio je 0,87. Vidljivo je da je koeficijent korelacije zadovoljavajući s obzirom na kompleksnost rješavanja domene. Model se sastoji od 11 pravila, od kojih je svako povezano s odgovarajućom linearnom jednadžbom koja se koristi za izračun koncentracije klorofila-*a* te se nakon odabira pravila primjenjuje odgovarajuća linearna jednadžba. Na Slici 2. prikazano je ponašanje modela, odnosno modelirane i izmjerene vrijednosti koncentracija klorofila-*a* za pojedinu postaju. Na slici se može uočiti visoka pouzdanost modela u usporedbi s izmjerenim podacima te relativno dobro predviđanje vršnih vrijednosti koncentracija klorofila-*a*. Najveći koeficijent korelacije dobiven je za postaju B2 (0,89), a slijede postaje B3 (0,83), B4 (0,80) i B1 (0,73).

Tablica 2. Pravila u simulacijskom modelu koncentracije klorofila-*a* za akumulaciju Butoniga.

Br. pravila	Pravilo	Jednadžba
Pravilo 1	pH ≤ 8,168 TP ≤ 0,012 pH ≤ 8,021 TP > 0,008	Chl- <i>a</i> = 0,9785 * pH - 12,5839 * TP - 0,0164 * DO - 0,0275 * Temp - 5,8635
Pravilo 2	pH ≤ 8,185 Temp > 22,005 Temp ≤ 24,77	Chl- <i>a</i> = 0,332 * pH - 0,019 * Temp - 0,9286
Pravilo 3	pH > 8,2 TP ≤ 0,023	Chl- <i>a</i> = 1,0541 * pH - 0,0629 * Temp - 5,3099
Pravilo 4	pH > 8,141 pH ≤ 8,302	Chl- <i>a</i> = 4,6205 * pH - 0,1874 * Secchi - 35,3143

Br. pravila	Pravilo	Jednadžba
Pravilo 5	pH ≤ 8,11 DO > 8,909 TP > 0,026 pH > 7,777	$\text{Chl-a} = 1,3015 * \text{pH} - 8,4381$
Pravilo 6	pH ≤ 8,117 TP ≤ 0,018 TP ≤ 0,012	$\text{Chl-a} = 1,0366 * \text{pH} + 20,8577 * \text{TP} - 0,0296 * \text{Temp} - 6,3785$
Pravilo 7	pH ≤ 8,127 TP ≤ 0,018	$\text{Chl-a} = 1,5034 * \text{pH} + 10,8034 * \text{PO}_4^{3-}\text{-P} - 10,4232$
Pravilo 8	pH ≤ 8,137 TP ≤ 0,038 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P} > 0,007$ TP ≤ 0,031	$\text{Chl-a} = 1,6862 * \text{pH} + 1,4648 * \text{TP} + 2,9775 * \text{PO}_4^{3-}\text{-P} - 12,1216$
Pravilo 9	pH ≤ 8,137 TP > 0,029	$\text{Chl-a} = 2,3495 * \text{pH} + 1,9994 * \text{TP} - 17,3215$
Pravilo 10	pH ≤ 8,222	$\text{Chl-a} = 5,1277 * \text{pH} - 39,7769$
Pravilo 11	-	$\text{Chl-a} = + 6,0912$



Slika 2. Rezultati modela za simuliranje koncentracije klorofila-a za akumulaciju Butoniga na mjernim postajama B1, B2, B3 i B4 u istraživanom razdoblju.

U okviru ovog istraživanja pomoću alata za strojno učenje po prvi je puta razvijen jednostavan i učinkovit model koji simulira kretanje koncentracije klorofila-*a* u akumulaciji Butoniga. S obzirom da u svojoj strukturi model uključuje osam okolišnih varijabli koje igraju važnu ulogu u simulaciji i predikciji kretanja koncentracije klorofila-*a* u ovom ekosustavu, model se može koristiti kao alat u svrhu upravljanja akumulacijom. Upravo modeliranje koncentracije klorofila-*a* u ovisnosti o hranjivim solima, prvenstveno ukupnom fosforu, temperaturi vode, pH, i drugim čimbenicima omogućuje uspješnu kontrolu eutrofikacije i upravljanjem mnogih lentičkih i lotičkih sustava (Pan i sur. 2009, Li i sur. 2017, Deng i sur. 2019). Konačno, cilj ovog modela je simulacija kretanja koncentracije klorofila-*a* i, s obzirom na pouzdanost ponašanja modela na neviđenim podacima, može biti vrlo koristan alat za upravljanje akumulacijom kao samostojeći model koji simulira klorofil-*a* ili može biti integriran u složenije modele sliva koji uključuju aktivnosti u slivu, kao što je prihranjivanje hranjivim tvarima te se kao takav može koristiti za kontrolu opterećenja hranjivim tvarima iz sliva.

ZAKLJUČAK

U predstavljenom istraživanju primijenjena je metoda strojnog učenja na višegodišnjim mjernim podacima prikupljenim iz akumulacije Butoniga s ciljem izrade simulacijskog modela klorofila-*a* koji daje simulaciju koncentracije klorofila-*a* u akumulaciji s obzirom na promatrane vrijednosti izmjerenih okolišnih varijabli. Izrađeni model simulira kretanje koncentracije klorofil-*a* s obzirom na promatrane vrijednosti osam okolišnih varijabli te se kao takav može koristiti kao alat u svrhu upravljanja akumulacijom. Potrebno je naglasiti relativno visoku pouzdanost modela u usporedbi s izmjerenim vrijednostima te relativno dobro predviđanje vršnih vrijednosti koncentracija klorofila-*a* na pojedinim mjernim postajama. Budući rad fokusiran je na procjenu utjecaja vode iz akumulacije Butoniga na rad postrojenja za kondicioniranje vode kako bi se dodatno optimizirao rad samog postrojenja.

ZAHVALA

Ovaj rad podržan je projektima „Održivo upravljanje riječnim slivom primjenom inovativnih metodologija, pristupa i alata“ (uniri-tehnic-18-129) financiranog od strane Sveučilišta u Rijeci, „Utjecaj ljetnih požara na tlo i kakvoću vode“ koji je financiran od strane Hrvatske zaklade za znanost (IP-2018-01-1645) te „Istraživanje i optimizacija ihtiocenoze u svrhu smanjenja trofije akumulacije Butoniga od 2006. do 2013. godine“. Također, ovaj rad je financiran u okviru projektne linije ZIP UNIRI Sveučilišta u Rijeci, za projekt ZIP-UNIRI-1500-3-22 te projekt ZIP-UNIRI-1500-2-22.

LITERATURA

- [1] Bernát, G, Boross, N, Somogyi, B, Vörös, L, G.-Tóth, L, Boros, G, (2020): Oligotrophication of Lake Balaton over a 20-year period and its implications for the relationship between phytoplankton and zooplankton biomass, *Hydrobiologia*, 847, 3999-4013, 10.1007/s10750-020-04384-x.

- [2] Deng, J, Chen, F, Hu, W, Lu, X, Xu, B, Hamilton, DP, (2019): Variations in the distribution of Chl-a and simulation using a Multiple Regression Model, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22), 4553, 10.3390/ijerph16224553.
- [3] Hajduk Černeha, B, (2017): Butoniga reservoir - Loads in the basin and water protection, *Znanstveno stručni skup, Upravljanje jezerima i akumulacijama u Hrvatskoj*, Rubinić (ed), Biograd na Moru, Hrvatska, pp. 86-95.
- [4] Latif, Z, Tasneem, MA, Javed, T, Butt, S, Fazil, M, Ali, M, Sajjad, MI, (2003): Evaluation of water-quality by chlorophyll and dissolved oxygen. In: *Water resources in the south: present scenario and future prospects*, Commission on Science and Technology for Sustainable Development in the South, Islamabad, Pakistan, pp. 122-135.
- [5] Li, X, Sha, J, Wang, ZL, (2017): Chlorophyll-a prediction of lakes with different water quality patterns in China based on Hybrid Neural Networks, *Water*, 9(7), 524, 10.3390/w9070524.
- [6] Pan, B, Wang, H, Liang, X, Wang, H, (2009): Factors influencing chlorophyll a concentration in the Yangtze-connected lakes, *Fresenius Environmental Bulletin*, 18(10), 1894-1900.
- [7] Quinlan, JR, (1993): Combining instance-based and model-based learning, In: *Proceedings of the Tenth International Conference on Machine Learning*, Utgoff, Ed., Amherst, Morgan Kaufmann, pp. 236-243.
- [8] Wang, F, Wang, X, Chen, B, Zhao, Y, Yang, Z, (2013): Chlorophyll a simulation in a lake ecosystem using a Model with Wavelet Analysis and Artificial Neural Network, *Environmental Management*, 51, 1044-1054.
- [9] Witten, IH, Frank, E, (2000): *Data mining - Practical machine learning tools and techniques with java implementations*. Academic Press, USA.

AUTORI

izv. prof. dr. sc. Goran Volf ^a

doc. dr. sc. Petar Žutinić ^b

izv. prof. dr. sc. Marija Gligora Udovič ^b

dr. sc. Antonija Kulaš ^b

prof. dr. sc. Perica Mustafić ^b

^a Građevinski fakultet, Katedra za hidrotehniku, Sveučilište u Rijeci, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka, Hrvatska, goran.volf@uniri.hr

^b Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Sveučilište u Zagrebu, Horvatovac 102a, 10000 Zagreb, Hrvatska



R 1.19.

POVIJEST, DEGRADACIJA I EKOLOŠKA OBNOVA PRIOBALNE MOČVARE SALINE NA BRIJUNIMA

**Martina Hervat, Andrej Sovinc, Alena Sprčić, Maja Radišić,
Milan Mihovilović, Josip Rubinić**

SAŽETAK: Priobalna močvara Saline rasprostire se na površini od 12 ha na otoku Veli Brijun, unutar Nacionalnog parka Brijuni. Ovo antropogeno stanište visokog ekološkog potencijala sastoji se od triju zajezenih površina zaslanjene vode. Ugrožen je prisutnim manifestacijama klimatskih promjena i lokalnim utjecajima, pogotovo prekidom snabdjevanja vodom iz lokalnog vodovoda, zbog čega se odvija ubrzana sukcesija, te prijeti i nestanak tog osjetljivog močvarnog ekosustava, značajnog u prvom redu za migratorne vrste ptica. Salinitet u vodenim tijelima je izuzetno visok što je uz nedostatak cirkulacije rezultirao nepovratnom degradacijom tršćaka i šaševa. Dodatni problem predstavlja i kopnena vegetacija uz samu obalu što povećava unos biološkog otpada i time potiče eutrofno stanje vode.

Nastavno na presušivanja tijekom ekstremne suše u ljeto 2022. godine kao i uznapredovalog procesa eutrofikacije, započeli su radovi na pripremi revitalizacije Salina, pri čemu se za osiguranje dodatnih dotoka voda planira korištenje podzemnih voda iz napuštenih prisutnih dubokih bušotina, izbušenih pedesetih godina prošlog stoljeća.

U radu su prikazane osnovne značajke vodnog sustava močvare Saline i utjecajnih klimatskih prilika, početni rezultati uspostavljenog hidrološkog monitoringa, a dan je i njen povijesni razvoj - od mletačke solane do vrijednog ekološkog staništa unutar zaštićenog područja u kojemu su prisutni problemi degradacije staništa i smanjenja bioraznolikosti. Prikazani su i planirani elementi njene obnove i dopune vodne bilance podzemnom vodom.

KLJUČNE RIJEČI: Brijuni, Hidrologija, Priobalne močvare, Ekološka obnova

HISTORY, DEGRADATION AND ECOLOGICAL RESTORATION OF THE SALINE COASTAL WETLAND ON THE BRIJUNI ISLANDS

ABSTRACT: The Saline coastal wetland covers an area of 12 hectares on the island of Veli Brijun within the Brijuni National Park. This anthropogenic habitat has high ecological potential and consists of three saline ponds endangered by the current climate change manifestations and local influences, in particular interruptions of water supply from the local water supply system. This caused the occurrence of a rapid succession, and the

sensitive wetland ecosystem, crucial for migratory bird species, is at risk of disappearing. The salinity in the water bodies is extremely high, which, along with a lack of circulation, has resulted in an irreversible degradation of reeds and sedges. An additional problem is land vegetation along the coast, which increases the intake of biological waste, thus increasing the eutrophic state of the water.

After a period when the wetland dried out during the 2022 extreme summer drought, as well as the advanced eutrophication process, works have commenced on the preparations for the Salina restoration. In order to ensure additional water inflow, we intend to use groundwater from abandoned deep wells drilled in the 1950s.

The paper presents the main features of the Saline wetland, impactful climate conditions, initial results of established hydrological monitoring, as well as the wetland's historical development—from the Venetian salt flats to a valuable ecological habitat in a protected area with prevalent issues of habitat degradation and biodiversity reduction. We have also outlined the planned elements of its restoration and the strategies for replenishing the water balance from groundwater.

KEYWORDS: Brijuni, Hydrology, Coastal wetlands, Ecological restoration

1. UVOD

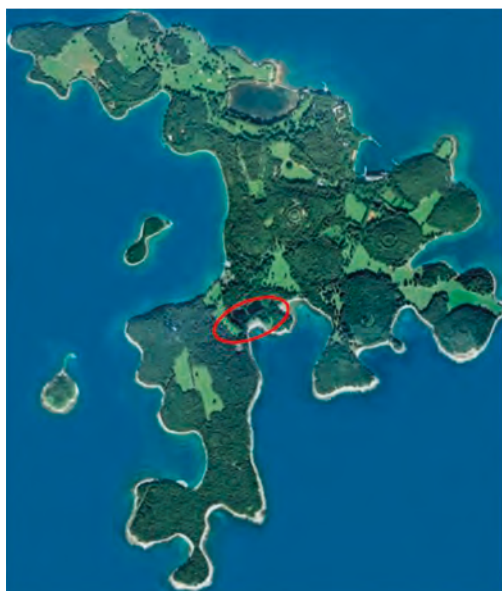
Močvare su staništa čija široka definicija rezultira obuhvatom brojnih područja raznih značajki. To su dinamična, ekološki vrlo vrijedna područja, koja imaju mnoge sličnosti i s vodenim i s kopnenim ekosustavima. Sva močvarna područja imaju barem sezonski podložan manjak vode. Vodostaji u močvarama su načelno plitki i iznimno osjetljivi na promjene, pri čemu čak i najmanje varijacije u razini vode mogu uzrokovati znatne promjene u specifičnim mikrostaništima. Budući da količina oborina varira iz godine u godinu, također varira i količina vode u močvarama, osobito u onima čiji glavni dotok čine oborine. Kako bi se prilagodila tim oscilacijama, lokalna flora i fauna neprestano mora reagirati na novonastale uvjete.

Močvare su jedinstvene po dva ključna čimbenika: anaerobnom supstratu (nastaje jer bakterije vrlo brzo iskorištavaju dostupni kisik u vodom zasićenim tlima) i prisustvu makrofita, odnosno makroskopskih biljaka vezanih uz vodena staništa. Najveći broj funkcija močvara su upravo posljedica prisustva makrofita (van der Valk, 2006.). Kao glavni primarni proizvođači imaju veliki utjecaj na svojstva močvara, a djeluju kao crpke nutrijenata iz supstrata u vodeni stupac, utječu na hidrologiju i smanjuju eroziju tla te čine najveći spremnik nutrijenata, tijekom i nakon života. Razgradnja organske tvari jedan je od ključnih procesa koji se zbivaju u močvarama. Glavni razlagači u močvarama su bakterije i gljive, koje tako imaju središnju ulogu u kruženju nutrijenata. Za ekologiju močvara su vrlo bitni i beskralješnjaci jer su njihovi razvojni stadiji često glavna hrana većim životinjama kao što su ribe, vodozemci, gmazovi, ptice i sisavci. Posebno se naglašava vrijednost močvara za migratorne vrste ptica, pružajući im ključna staništa za odmor, obnovu energije i obilje hrane tijekom njihovih dugih migracijskih putovanja.

Ekološki status močvara pod brojnim je pritiscima koji proizlaze iz poljoprivredne i urbane ekspanzije, klimatskih promjena i promjena hidrološkog ciklusa (Martínez - Megías i Rico, 2022). To je posebno izraženo na Sredozemlju, gdje se procjenjuje da je tijekom prošloga stoljeća nestalo oko 50 % tih staništa (Perennou i sur. 2012). Stoga se u mnogim

zemljama u svijetu (npr. Danska, Nizozemska, Kina, SAD) pristupilo procesu ekološkog obnavljanja plitkih vodenih tijela koristeći mehaničke, kemijske ili biološke metode (Jepesen i sur. 2007; 2012). Pozitivni primjeri u regionalnom okruženju su Rezervati prirode Škocjanski zatok u Sloveniji (Sovinc, 1996) i Isola della Cona u Italiji.

Priobalne močvare Saline rasprostiru se na površini od 12 ha na otoku Veli Brijun, unutar Nacionalnog parka Brijuni. Čine ih sustav triju vrlo plitkih jezera - Veliko (1,3 ha), Srednje (1,0 ha) i Malo (0,4 ha). Nalaze se u neposrednom zaleđu duboke južne uvale Javorika i od mora su dijelom odvojeni umjetnim nasipom. Stvorena su na prostoru nekadašnje mletačke solane, gdje su melioracijskim radovima 1960. godine formirana dva jezera, a 1973. i treće. (Slika 1).



Slika 1. Otok Veli Brijun s markiranim položajem močvarnog sustava Saline

Područje ima visoki ekološki potencijal, posebno za migratorne vrste ptica. Radi se o vrlo osjetljivom ekološkom sustavu zaslanjene vode. Ugrožen je prisutnim manifestacijama klimatskih promjena i lokalnim utjecajima, zbog čega se odvija ubrzana sukcesija, te prijeti i nestanak tog vrijednog močvarnog ekosustava. Tijekom iznimne suše u ljeto 2022., dva su jezera (Veliko i Srednje) u cijelosti presušila, a u Malom su zadržane iznimno male količine vrlo zaslanjene vode. Jezera obilježavaju procesi eutrofikacije, a u odnosu na ranija stanja, zapaža se odsustvo makrofita, posebice trščaka.

Zbog rizika nepovratnih negativnih promjena, planira se ekološka obnova toga sustava. Kao polazna osnova uspostavljen je sustav hidrološkog monitoringa – praćenja dinamike kolebanja razine vode, temperature i električne vodljivosti, kao i utvrđivanje hidrogeoloških značajki podzemnih voda. Naime, u razdoblju 1948. - 1953., nakon što Brijuni dobivaju rezidencijalni karakter, izbušeno je sedam dubokih bušotina za zahvaćanja podzemnih voda za vodoopskrbu. No zbog povećanog sadržaja klorida, sustav je napušten i spomenute bušotine predstavljaju potencijalni resurs za dodatno napajanja

jezera. Planirani projekt revitalizacije uključuje dovod vode do jezerskog sustava, poticanje njezine izmjene i cirkulacije, odmuljivanje, smanjenja stupnja trofije, podizanje razine vode kao i obnovu raznolikih staništa. Iako je predmetni hidrološkom sustav stvoren na umjetan način, radi se o vrijednom sustavu otočnih voda stajačica, čiju je opstojnost nužno zadržati i u budućim vremenima koje karakteriziraju sve naglašenije manifestacije klimatskih promjena (povećane temperature zraka i vode, naglašenije varijacije dotoka sa sve intenzivnijim pojavama dugotrajnijih sušnijih razdoblja, porast razine mora).

Projekti revitalizacije priobalnih močvara su iznimno važni za održavanje ne samo njihovih lokalnih ekosustava, nego i šire.

2. POVIJESNI RAZVOJ MOČVARNOG SUSTAVA I ZAHVATA PODZEMNIH VODA

Brijunsko otočje naseljeno je još u prapovijesno doba, a kontinuitet njihove naseljenosti prisutan je i u doba antike (Vitasović, 2008). Izuzetno dugo razdoblje otočje je bilo pod mletačkom vlašću (od 1331. do kraja 18 stoljeća), kada se intenzivira vađenje kamena i proizvodnja soli upravo na području Salina. Taj je prostor sve do prve polovine 19. - tog stoljeća bio formiran kao jedinstveni močvarni prostor (Slika 2), da bi 50 - tak godina kasnije bilo jasnije izražen njegov močvarni karakter (Slika 3).



Coastal Zone (1821-1824) - Second military survey of the Habsburg Empire

Slika 2. Prikaz lokaliteta Salina na početku 19. stoljeća (Timár i sur., 2006)



Slika 3. Prikaz lokaliteta Saline pri kraju 19. stoljeća (Timár i sur., 2006)

No, zbog učestalih epidemija kuge i malarije, privreda otoka i njegovo stanovništvo su zapušteni i ispražnjeni, tako da je 1869. godine Veliki Brijun samo povremeno nastanjen. Godine 1893. otočje kupuje industrijalac Paul Kupelwieser, koji provodi opsežne radove na revitalizaciji otočkog prostora, zaštiti od malarije, te izradi niza objekata turističke namjene. Uz korištenje lokalnih oborinskih voda, u razdoblju 1906. - 1908. gradi se pod-morski cjevovod dug 3,2 km za dovoz vode iz zahvata na kopnu (Kupelwieser, 2005 - pretisak i dopuna dokumenta iz 1918). Nakon propasti Austro - Ugarske, otočje dolazi pod talijansku vlast te postaje mondano ekskluzivno ljetovalište, a 1946. pod jugoslavensku vlast te postaje zatvoreno područje s ekskluzivnom namjenom - predsjednička rezidencija. U razdoblju 1948. - 1953. provedeni su i vrlo intenzivni hidrogeološki radovi za potrebe izvedbe sedam vrlo dubokih bušotina za potrebe osiguranja vode. Dubine bušenja bile su između 160 i 350 m, a jedino je jedna bušotina bila plića pa je zatrpana nakon 72 m bušenja zbog iznimno visokih klorida. Kod ostalih bušotina kloridi su se kretali između 120 i 350 mg/L (Sarnavka, 1952; Kobeščak 1952). Prema istom izvoru izdašnosti su bile relativno male za ukupne vodoopskrbe potrebe (po pojedinim bunarima između 0,5 i 1 l/s, ukupno 4,1 l/s), zbog čega je 1954. godine izgrađen novi podmorski cjevovod i voda osigurana korištenjem resursa uključenih u vodoopskrbni sustav Vodovoda Pula.

Od zamočvarenog područja nekadašnje Solane, za potrebe odmora i rekreacije bivšeg predsjednika SFR Jugoslavije Josipa Broza Tita, građevinskom šutom nasipano je područje i oblikovana su jezera. U njih se aktivno upumpavala voda iz sustava javne odvodnje od nastanka 1960. - tih do konca 1980.-tih, a u dijelu kojeg danas čini Malo jezero bio je kanal koji je močvare povezivao s morem. Još je danas vidljiva zatrpana betonska cijev na obali u uvali Javorika.

Na promjene u močvarnom sustavu osim navedenih hidrotehničkih zahvata u povijesti utječu i sedimentacijski procesi potencirani velikim brojem alohtone divljači i njihovom intenzivnom ispašom koja je potaknula procese intenzivne erozije. To uz problem razvijene kopnene vegetacije uz jezera i unos organske tvari (Čerba i sur., 2023) dovodi do promjena kakvoće vode uslijed ubrzanih procesa eutrofizacije.

3. POSTOJEĆE STANJE

3.1. Klimatske i hidrološke prilike

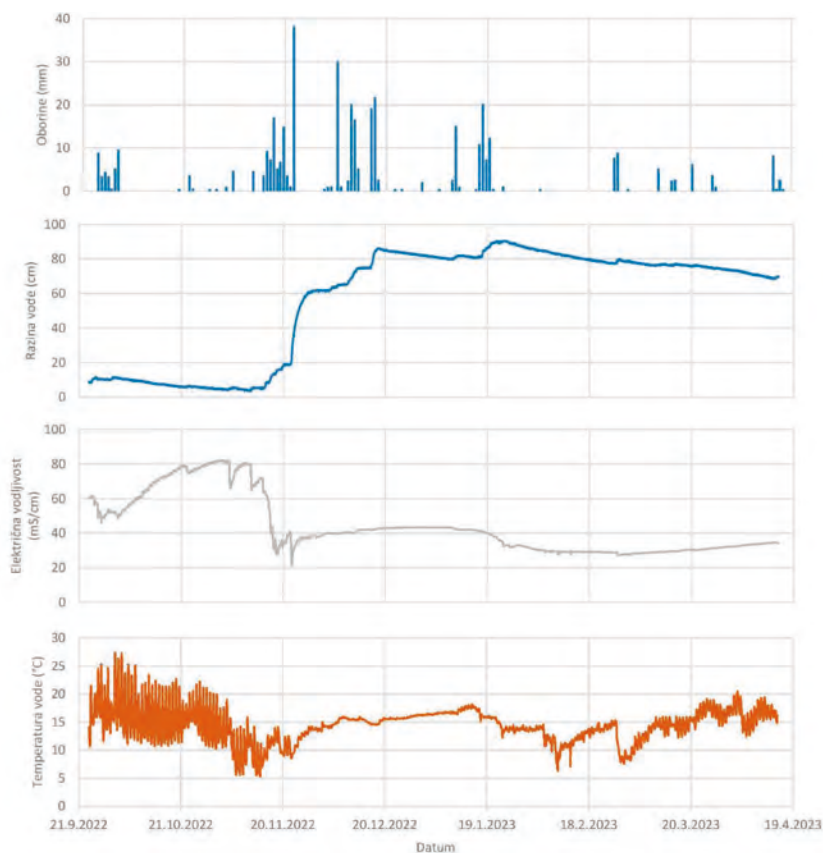
Na brijunskom otočju do pokretanja inicijalnog projekta praćenja stanja hidroloških prilika močvarnog sustava Saline početkom jeseni 2022. aktivna je samo interna automatska klimatološka postaja Brijuni, aktivirana početkom te godine. Zbog toga klimatološke prilike i promjene na duljoj vremenskoj skali mogu sagledati iz podataka s oko 7 km udaljene klimatološke postaje Pula. Kod te je postaje za razdoblje nakon 1961. godine utvrđen izraziti trend povećanja temperature zraka od 3,6 °C / 100 godina što uvjetuje i sve veću evapotranspiraciju otočke vegetacije. Godišnje količine oborina ne pokazuju nikakav trend, ali je primjetna sve veća varijacija u godišnjim količinama oborina koje su se kretale u rasponu između 484 mm (2011.) i 1.514 mm (2014.). Godišnja isparavanja na po klimatskim prilikama najbližem isparitelju na Vranskom jezeru na otoku Cresu prelaze 1000 mm, a prosječna mjesečna kreću se u rasponu između 34,5 mm (prosinac) i 172,7 mm (srpanj). Pri tome, dnevna isparavanja kreću se, pa i premašuju, i 10 mm/dan (GEO-5, 2023).

Krajem rujna 2022. uspostavljen je kontinuirani monitoring razina vode, njene temperature i električne vodljivosti na Srednjem jezercu močvare Saline (Slika 4), kao i u moru ispred močvara - u uvali Javorika, a u nekoliko navrata provode se i simultana praćenja stanja u ostala dva jezercima, kao i podzemnih voda u bušotinama. Vidljivo je da je tijekom promatranog razdoblja razina vode od praktički potpunog presušivanja porasla za 80 - tak cm nakon pojave jesenskih kiša, a električna vodljivost se smanjila od preko 80 mS/cm na 21 mS/cm. Temperatura vode je tijekom trajanja sušnog razdoblja na kraju ljeta 2022. varirala u vrlo velikim unutardnevnim rasponima oko 15 °C, da bi se u zimskom vodnom dijelu takve oscilacije kretale unutar nekoliko desetina °C, pa i manje. To ukazuje na velike promjene abiotičkih uvjeta, kako sezonski tako i unutar dana, a koje pak utječu na akvatički ekosustav.

Posebno su interesantni i rezultati simultanog uzorkovanja kakvoće vode, električne vodljivosti i saliniteta u svim trima jezercima, moru ispred lokacije močvara Saline u uvali Javorika, kao i na dvama dubokim bušotinama za koje je ocijenjeno da su najperspektivnije za planiranje prihranjivanja močvara iz njih (iz najbliže bušotine B5 kao i bušotine B1), provedenog dana 18. lipnja 2022. (Tablica 1.). Iz njih je vidljivo da Malo jezero ima vrlo velik udio morske vode u svom vodnom sustavu, a upola manje Veliko jezero - Srednje jezero se po koncentracijama morske vode u svom vodnom sustavu nalazi negdje između dva spomenuta jezera. Nasuprot tome, podzemne vode iz uzorkovanih bušotina imaju iznimno mali udio zaslanjenih voda, bušotina B-1 čak i višestruko manje od maksimalno dozvoljenih koncentracija za pitku vodu, dok bušotina B6 samo blago prelazi MDK.

Tablica 1. Rezultati uzorkovanja sadržaja zaslanjenih voda na odabranim lokalitetima na Brijunima dana 18. svibnja 2023.

UZORAK	Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Salinitet	Kloridi
MDK za pitku vodu	2.500		250,0
MORE	51.400	37,1	20.600
MALO JEZERO	41.700	29,7	16.400
SREDNJE JEZERO	34.400	23,8	13.200
VELIKO JEZERO	22.600	15,1	8.300
B1	205	0,11	34,7
B5	1.037	0,57	300



Slika 4. Prikaz rezultata opažanja satnih vrijednosti razine vode, temperature i električne vodljivosti na lokalitetu Srednje jezero i dnevnih oborina na postaji Brijuni u razdoblju 24. rujna 2022. - 14. travnja 2023.

3.1. Stanje močvarnog ekosustava

Dugoročna održivost močvara ovisna je o povoljnim hidrološkim uvjetima, odnosno o količini i periodičnosti unosa vode. O tim procesima ovisi strukturalni integritet i funkcionalnost močvara (Fossey i Rousseau, 2016). Močvarna staništa dugotrajno izložena pomanjkanju vode mogu se u tolikoj mjeri degradirati da i poboljšanje hidroloških uvjeta ne rezultira obnovom, već je potrebno šire sagledavanje moguće uzročnike problema (Decsi i sur., 2020).

Dugotrajni hidrološki stres i promjena fizikalno - kemijskih parametara vode rezultirali su postepenim propadanjem močvare Saline. Jedan od istaknutih problema je nepovratno oštećenje ključnog makrofita, trstike *Phragmites australis*. Trstika može podnijeti konstantni salinitet do 22,5 g/l, no visina, promjer i gustoća izbojaka opadaju iznad 5 g/l (Lissner i Schierup, 1997). Smanjenje gustoće i visine trstike također proizlazi iz nedostatka vode (Engloner, 2009). Optimalni uvjeti za rast trske su slatkovodna tijela sa sezonskim fluktuacijama vode od 30 cm (Deegan i sur., 2007). Navedene granične vrijednosti u dužem su razdoblju premašene u jezerima u Salinama. Cirkulacija je neznatna, a voda značajno zaslanjenja, eutrofna i hipoksična, a sediment visokog udjela organske tvari (Čerba i sur., 2023). To se stanje nepovoljno odrazilo na različite sastavnice bioce-noze, od trzalaca (Čerba i sur., 2023), makrofita do ptica (Sovinc, 2021 i 2022).

4. PLANSKI ELEMENTI REVITALIZACIJE MOČVARE

Antropogeno stvoreno močvarno stanište na Salinama potrebno je, radi kritičnog stanja u močvari, a s druge strane i radi njezine iznimne vrijednosti, potrebno čim prije revitalizirati. To je moguće provesti tako da se, uz zahvate na produbljivanju i izmuljivanju močvara, kao i povećanju mogućnosti izmjena vode, provodi i prihranjivanje močvara kao što se to radilo prije proglašenja nacionalnog parka kada se u kritičnim hidrološkim prilikama močvare prihranjivalo iz vodoopskrbnog sustava. Potrebe za vodom za prihranjivanje tijekom iznimno sušnih razdoblja moguće je osigurati kombinacijom napajanja iz najbliže bušotine B-5, kao i povezivanjem s ostalim bušotinama. Nije problem blaga boćatost kod nekih od tih zahvata podzemnih voda jer je to daleko niže od stupnja zaslanjenosti same močvare.

Voda iz bušotine privremeno bi se akumulirala u novo planiranom akumulacijskom vodenom tijelu, jezercu koji ne bi imao nikakve ekološke uloge, ali bi omogućavao sakupljanje dovoljne količine vode za sušnija razdoblja i njenu prilagodbu temperaturnim i drugim uvjetima koji vladaju u samom močvarnom sustavu jer bi stajanjem poprimala biološke parametre površinskih voda. Sustavom zapornica povezano bi se Veliko i Srednje jezero, te stvorilo nužno strujanje čime bi se poboljšali okolišni uvjeti za ekološku obnovu staništa. Dodatno jezerce bi služilo kao retencijski objekt za prelijevanje vode iz Velikog i Srednjeg jezera za potrebe omogućavanja strujanja vode u ovim jezerima. Uz ove radove planira se i odmuljavanje ograničenih količina sedimentiranih materijala, otklanjanje građevinskog i biološkog otpada (detrita) i izgradnja otočića. Treće, najmanje jezero, predviđa se kao slanije stanište uz mogućnost naseljavanja halofita.

ZAKLJUČAK

Slatkovodna i blago bočata staništa na otocima su od izuzetne važnosti za bioraznolikost tih područja. S obzirom na probleme presušivanja i loše kakvoće vode močvarnog sustava Saline, podzemne vode iz napuštenih otočkih dubokih bušotina pogodan su resurs za prihranjivanje močvare jer njihovi kapacitet zadovoljavaju iskazane potrebe nadopune vode. Pored održivog načina snabdijevanja staništa s vodom iz bušotine, uz tehničke zahvate i radove očekuje se, da će se poslije izvedene ekološke obnove na područje Salina ponovo vratiti brojne karakteristične i ugrožene vrste obalnih močvarnih ekosustava.

LITERATURA

- [1] Čerba, D., Sudarić Bogojević, M. (2023): *Istraživanje zajednica trzalaca (Diptera, Chironomidae) u Nacionalnom parku Brijuni za potrebe revitalizacije slatkovodne stajačica* (lokacije Saline i Brijunska bara, otok Veliki Brijun). Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za biologiju, Osijek
- [2] Decsi, B., Ács, T., Kozma, Z. (2020): *Long - term Water Regime Studies of a Degraded Floating Fen in Hungary*. Periodica Polytechnica Civil Engineering 64 (4), str. 951-963
- [3] Deegan, B. M., White, S. D., & Ganf, G. G. (2007): *The influence of water level fluctuations on the growth of four emergent macrophyte species*. Aquatic Botany, 86, str. 309-315.
- [4] Engloner, A. I. (2009): *Structure, growth dynamics and biomass of reed (Phragmites australis) - A review*. Flora, 204, str. 331-346.
- [5] Fossey, M. i Rousseau, A. N. (2016): *Assessing the long-term hydrological services provided by wetlands under changing climate conditions: A case study approach of a Canadian watershed*. J. Hydrol., 541 part B: 1287-1302. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.08.032
- [6] GEO - 5, d.o.o. (2023): *Uspostava hidrološkog praćenja priobalnih močvara „Saline“ u Nacionalnom parku Brijuni* (nos. zad. Rubinić, J.). Rovinj.
- [7] Jeppesen E., Trolle D., Davidson T. A., Bjerring R., Søndergaard M., Johansson L. S., Lauridsen T. L., Nielsen A., Larsen S. E., Meerhoff M. (2016): *Major changes in CO2 efflux when shallow lakes shift from a turbid to a clear water state*. Hydrobiologia 778: 33-44.
- [8] Jeppesen, E., Søndergaard, M., Pedersen, A.R., Jürgens, K., Strzelczak, A., Lauridsen, T.L., Johansson, L.S. (2007): *Salinity induced regime shift in shallow brackish lagoons*. Ecosystems 10: 47e57.
- [9] Kobešćak, Lj. (1952): *Tehnički podaci o izvedenim bušotinama pitke vode - Brioni*. Zagreb.
- [10] Kupelwieser, P. (2005) *Brijuni - iz sjećanja starog Austrijanca / Pretisak i prijevod izvornika Brioni - Aus den Erinnerungen eines alten Österreicherers* Amforapress, ur. Urošević M.), Amforapress, Pula, str. 176

- [11] Lissner, J., i Schierup, H. H. (1997): *Effects of salinity on the growth of Phragmites australis*. Aquatic Botany, 55, str. 247-260.
- [12] Martínez - Megías, C., Rico, A. (2022): *Biodiversity impacts by multiple anthropogenic stressors in Mediterranean coastal wetlands*, Science of The Total Environment, broj 818
- [13] Perennou, C., Beltreme, C., Guelmami, A., Tomas-Vives, P. i Caessteker P. (2012): *Existing areas and past changes of wetland extent in the Mediterranean region: an overview*. Ecologia mediterranea - Vol. 38 (2)
- [14] Sarnavka, R. (1952): *Otvoranje vodnih horizonta na Brionskim otocima i ispitivanje njihovih kapaciteta kašikovanjem*, Geološki vjesnik, God II-IV (1948.1950), Zagreb
- [15] Sovinc, A. (1996): *Renaturacija Škočjanskega zatoka*. Annales. Series historia naturalis letnik 6. broj 9 str. 245-252. <<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:doc-RQBIMXTQ>>
- [16] Sovinc, A. (2021): *Polazišta za provedbu ekološke obnove područja Saline na Velikom Brijunu (Nacionalni park Brijuni)*. NaravaNarave, Ljubljana
- [17] Sovinc, A. (2022): *Popis gnjezdarica i praćenje stanja gnježđenja ptica močvarica u močvarnom području Saline u Nacionalnom parku Brijuni*. NaravaNarave, Ljubljana
- [18] Timár, G., Molnár, G., Székely, B., Biszak, S., Varga, J., Jankó, A. (2006): *Digitized maps of the Habsburg Empire - The map sheets of the second military survey and their georeferenced version*. Arcanum, Budapest, 59 p. ISBN: 963-7374-33-7
- [19] van der Valk, A.G. (2012): *The Biology of Freshwater wetlands*. Oxford University Press, New York, 2 izdanje, str. 69
- [20] Vitasović, A. (2008): *Opskrba vodom i rimski vodovod na brdu Gradina na otoku Veli Brijun*. Histria aecheologica 37, str. 47-84.

AUTORI

Martina Hervat, dipl. ing. bem. ^a

dr. sc. Andrej Sovinc, dipl. ing. građ. ^b,

Alena Sprčić, dipl. ing. biol. ^a

Maja Radišić, mag. ing. aedif. ^c,

Milan Mihovilović, dipl. ing. geol. ^d

dr. sc. Josip Rubinić, dipl. ing. građ. ^d

^a Javna ustanova Nacionalni park Brijuni, Brijuni, 52100 Pula, Hrvatska,
martina.hervat@np-brijuni.hr, alena.sprcic@np-brijuni.hr

^b NaravaNarave d.o.o., Pod kostanji 44, 1000 Ljubljana, Slovenija,
andrej@naravanarave.com

^c MaLu, Pomerio 11, Rijeka, 51000, Hrvatska, maja8radisic@gmail.com

^d GEO-5 d.o.o., Carera 59, Rovinj, 52210, Hrvatska, rovinj.geo5@gmail.com,
rubinic.josip@gmail.com



R 1.20.

NOVIJE SPOZNAJE O HIDROLOŠKOM SUSTAVU VRANSKOG JEZERA NA OTOKU CRESU

**Josip Rubinić, Maja Radišić, Milan Mihovilović, Maja Oštrić, Ivan Tot,
Igor Ružić, Bojana Horvat**

SAŽETAK: Vransko jezero na otoku Cresu je najvažniji otočki vodni resurs otoka Cresa i s njime vezanog otoka Lošinja koji ima nezamjenjivu ulogu u vodoopskrbi tih otoka. Radi se o prirodnom fenomenu pojava oko 220 milijuna m³ slatke vode na inače bezvodnim krškim otocima, i to na udaljenosti od svega nekoliko km od mora. Za vodoopskrbu se tijekom posljednjih godina godišnje koristi blizu 3 milijuna m³, a vršne potrebe za crpljenjem tijekom ljetne sezone 200 l/s. S obzirom da je Vransko jezero kriptodepresija s kotom najnižeg dijela dna - 61,3 m n.m., radi se o posebno osjetljivom vodnom resursu kod kojega postoji rizik prodora zaslanjene morske vode u njegov jezerski sustav ukoliko se naruši dinamička ravnoteža slatke i slane vode u njegovu okolnom vodonosniku i more prodre u samo jezero. Stoga su, obzirom na sve izraženije potrebe za vodom s jedne strane, te prisutni trend opadanja razine vode u jezeru, i negativne utjecaje / manifestacije klimatskih promjena kako u skoroj prošlosti tako još naglašenije i u budućnosti s druge strane, tijekom protekle 3 - 4 godine pokrenuta dva projekta kojima je bio za cilj unaprjeđenje spoznaja o hidrološkom sustavu toga jezera i njegova vodonosnika, procjene rizika od negativnih utjecaja klimatskih promjena te unaprjeđenje sustava monitoringa.

Radi se o projektima "Monitoring podzemnih voda Vranskog jezera" kojeg su pokrenule Hrvatske vode, kao i projektu "Upravljanje krškim vodonosnicima ugroženim klimatskim promjenama (UKV)", financiranim od strane Operativnog programa "Konkurentnost i kohezija" 2014. - 2020. U radu je dan prikaz uspostavljenih motrenja na dvije nove duboke piezometarske bušotine u zonama potencijalnih gubitaka vode iz jezerskog sustava, obnovljena su motrenja na više drugih lokaliteta, te provedene analize dotoka u jezerski sustav, kao i procjene mogućih promjena dotoka i temperature vode u izmijenjenim klimatskim uvjetima.

KLJUČNE RIJEČI: Klimatske promjene, Kriptodepresija, Rizici od zaslanjivanja, Monitoring, Prognoze

RECENT INSIGHTS INTO THE HYDROLOGICAL SYSTEM OF LAKE VRANA ON THE ISLAND OF CRES

ABSTRACT: Vrana Lake on the island of Cres is the most important water resource of the island of Cres and the connected island of Lošinj, and has an irreplaceable role in water supply of these islands. The lake is a natural phenomenon with about 220 million m³ of freshwater on an otherwise waterless karst island at a distance of only several kilometres from the sea. In recent years, nearly 3 million m³ are used for water supply, with a peak demand during the summer season of 200 l/s. Since Lake Vrana is a cryptodepression with the lowest bottom level at - 61.3 m asl, it is a particularly sensitive water resource. There is a risk of saltwater intrusion into its lake system if the dynamic balance between the freshwater and seawater in its surrounding aquifer becomes disturbed and the sea intrudes the lake. Considering the growing water demand and the current trend of decreasing lake water levels, as well as adverse climate change impacts/manifestations (both in the recent past and probably more intense in the future), two projects have been launched in the past 3 to 4 years with a purpose to improve insights into the hydrological system of the lake and its aquifer, assess risks from adverse impacts of climate change, and improve the monitoring system.

The project “Lake Vrana Groundwater Monitoring” was launched by Hrvatske vode, while the project “Managing Karst Aquifers at Risk from Climate Change” is financed under the OPCC 2014 - 2020. The paper provides an overview of the established monitoring at two new deep boreholes in the zones of potential water losses from the lake system, the restored monitoring at a number of other sites, the conducted analyses of inflows into the lake system, and the assessments of potential changes of inflow and temperature of water under changed climate conditions.

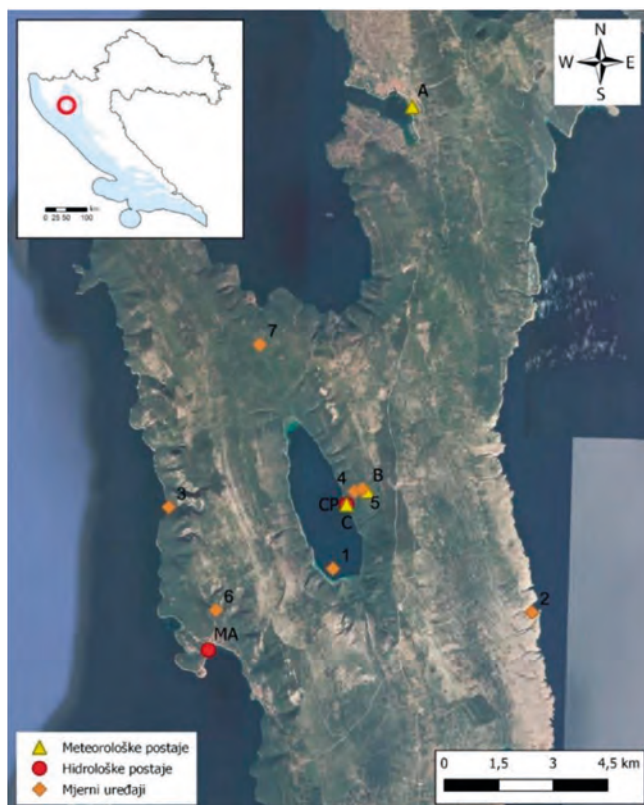
KEYWORDS: Climate change, Cryptodepression, Salinization risks, Monitoring, Forecasts

1. UVOD

Vransko jezero na otoku Cresu osebujan je prirodni fenomen čiji je hidrološki sustav predmet interesa znanstvenika i stručnjaka još od kraja 18. stoljeća (Fortis, 1771 - hrv. izdanje 2014; Lorenz, 1859; Mayer, 1874; Gavazzi, 1902, 1904; Morton, 1933; Ceconi, 1940; Petrik, 1957, 1960, 1961; Rubinić i Ožanić, 1992; Biondić i drugi, 1993 i 1995; Bonacci, 1993, 1995, 2014; Ožanić i Rubinić, 1994; Hertelendi i drugi, 1995; Rubinić i drugi, 2011; Kuhta i Brkić, 2013; Bonacci i Roje - Bonacci, 2018). Dio tih radova bio je okupiran ocjenama o mogućnosti zahvata vode za potrebe vodoopskrbe i uz to vezanim ograničenjima, u kontekstu rizika od zaslanjivanja jezerskog sustava ukoliko se razina vode u jezeru pretjerano spusti s obzirom da je vodozahvat na Vranskom jezeru. Uz uvodno navedene radove bilo je i drugih, vrlo vrijednih istraživanja, ali su se ona bavila uglavnom drugim segmentima istraživanja jezerskog sustava ili su pak njihovi rezultati sadržani u spomenutoj izdvojenoj literaturi.

Dio prethodno istaknutih radova bio je vezan uz intenzivnija istraživanja koja su se periodički provodila na Vranskom jezeru i njegovom utjecajnom prostoru, a dio je bio vezan uz interpretaciju ili reinterpretaciju podataka redovnog monitoringa ili pak rezultata

prethodnih istraživanja. Iako su i radovi datirani prije sredine 30-tih godina dijelom bili temeljeni na rezultatima izvjesnih terenskih opažanja, radilo se o kratkotrajnim i fragmen-tarnim opažanjima, tako da se početkom sustavnog hidrološkog monitoringa može sma-trati 1926. godina (sačuvani podaci od svibnja 1928.), kada su uspostavljena kontinuirana hidrološka osmatranja razine vode Vranskog jezera, kao i praćenja oborinskog režima. Vremenom se je uspostavljeni monitoring dopunjavao (Slika 1), ali praćenja podzemnih voda uspostavljena su tek 1995. - 1997. godine. Tijekom tog razdoblja izbušena su tri duboka piezometra u neposrednom zaleđu Crpne postaje Vrana i razine vode praćene su zaključno do 2022. No, radilo se o piezometrima koji su locirani na strmim padinama obale Vranskog jezera u zoni pretpostavljenih dotoka u jezerski sustav. Stoga unatoč du-binama bušenja i do 300 m, dno bušotina dosezalo je razine do svega tridesetak m ispod najniže kote u jezeru te nisu mogle biti korištene kao osmatračke za pravovremene ocjene pomicanja granice ravnoteže slatke i slane vode u krškom vodonosniku Vranskog jezera. Takve su dvije piezometarske bušotine (PZV Martinšćca i PZV Valun) uspostavljene 2021. godine u zaleđu istoimenih naselja na Cresu u okviru programa Hrvatskih voda „Monitoring podzemnih voda Vranskog jezera“. Usporedno s tim programom odvijala se i realizacija EU projekta “Upravljanje krškim vodonosnicima ugroženim klimatskim promjenama (UKV)” u okviru kojeg je obnovljen monitoring u dvama (PZ1 i PZ2) od tri ranije spomenutih bušotina u zaleđu crpne postaje te uspostavljena i hidrološka praćenja stanja u najdubljem dijelu jezera i na površini iznad nje, kao i na mjestima dvaju kon-centriranih mjesta istjecanja podzemnih voda na zapadnoj (vrulja Vrutak) i istočnoj obali otoka Cresa (priobalni izvor Lukavac) (Slika 1).



Slika 1. Situacija Vranskog jezera s prikazom položaja hidroloških postaja (CP - C.P. Vrana, MA - Martinšćica more), meteoroloških postaja (A - klimatološke postaje Cres, B - automatska postaja Vransko jezero - Cres i C - kišomjerna postaja Vransko jezero - crpna postaja) i mjernih uređaja (1 - najdublji dio Vranskog jezera, 2 - Izvor Lukavac, 3 - Vrulja Vrutak, 4 - Piezometar PZ1, 5 - Piezometar PZ2, 6 - Piezometar PZM (Martinšćica) i 7 - Piezometar PZV (Valun))

Problem mogućnosti pojave kritično niskih razina vode u Vranskom jezeru koje bi mogle narušiti za sada stabilnu ravnotežu slatke i slane vode odavno je prepoznat i kao glavni uzročnici smatraju se crpljenja iz jezerskog sustava, kao i promjene u dotocima uslijed promjena vegetacijskog pokrova i povećanja evaporacije i evapotranspiracije uvjetovanih i promjenama klimatskih prilika. No, tijekom posljednjih tridesetak godina mogućnost narušavanja stabilnosti jezerskog sustava i mogući rizici od prodora mora dovodi se u vezu i s globalnim klimatskim promjenama pa je tako upravo otočje Cres - Lošinj bilo predmet prvih procjena mogućih klimatskih utjecaja u okviru tada započetog Mediteranskog akcijskog plana - klimatskog projekta UN (1992). No, prve kvantificirane ocjene mogućeg utjecaja klimatskih promjena na promjene dotoka u jezerski sustav provedene su u okviru EU projekta CCWaterS (Rubinić i drugi, 2011), a u okviru UKV projekta provedene su i procjene utjecaja klimatskih promjena na promjene temperatura vode, što je sadržano i u okviru predmetnog rada.

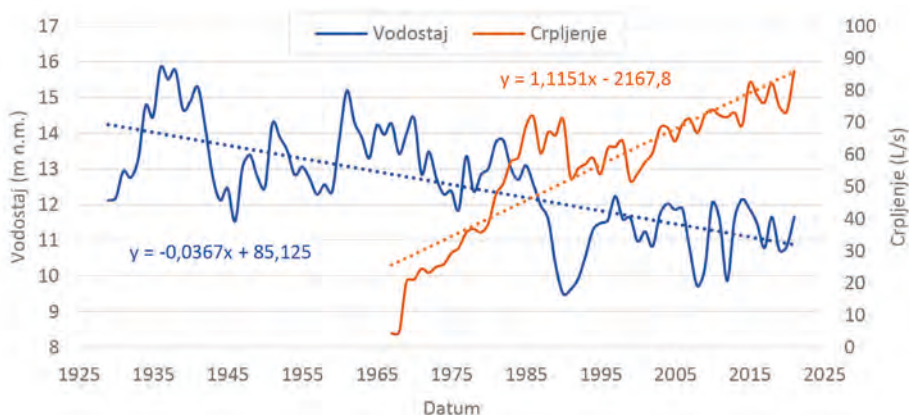
2. REZULTATI MONITORINGA

Najzorniji prikaz hoda dosadašnjih hidroloških prilika i s njime vezanih trendova dan je na Slici 2 u kojoj je sadržan prikaz srednjih godišnjih razina vode na Vranskom jezeru, kao i prosječne količine godišnjih crpljenja vode za potrebe vodoopskrbe. Vidljiv je trend opadanja razine vode od 3,67 cm/god, dok je sasvim suprotan trend porasta prosječnih crpljenih količina od 1,12 l/s/god. Ukoliko se spomenuti gradijent snižavanje razine vode izrazi na 100 - godišnjoj vremenskoj skali, odnosno kao 3,67 m/100 god još je zornije naglašen problem mogućeg sniženja razine vode u jezeru ispod kritične razine za održavanje hidrološke stabilnosti jezerskog sustava. Simplificirano gledajući, samo u kontekstu teoretskih postavki Ghyben - Herzbergovog zakona ravnoteže slane i slatke vode (s omjerom ravnoteže slatke i slane vode u jadranskim uvjetima približno 1 : 40), za najnižu kotu dna jezera od - 61,3 m, potreban minimalni nadpritisak je 1,54 m n.m. No, kako se ne radi o hidrostatskom sustavu nego o hidrodinamičkom okršenom području, u kome se odvija gibanje voda i pukotinskim sustavima te gdje se osjeća dinamika kolebanja razine mora pa i vlastite unutardnevne oscilacije jezerskog sustava, a gustoće slane i slatke vode nisu stalne već se mijenjaju tijekom vremena, kritična granica je sigurno na višoj, za sada još nedefiniranoj koti.

Stabilnost jezerskog sustava stoga mora biti kontrolirana na prostoru koji je puno udaljeniji od jezera prema moru, da se ne dozvoli uvlačenje morske vode ispod samoga jezera i njegovog najdubljeg dijela - vrtačaste depresije. Treba voditi računa i o tome da je do sada zabilježeni raspon višegodišnjih oscilacija vode u jezeru, između maksimalno zabilježene razine od 16,85 (1997. godine) m n.m. i minimalne 9,05 m n.m (2012. godine) vrlo velik i iznosi 7,81 m. No, nakon 1990. razina vode u jezeru oscilira u puno manjem rasponu od 3,8 m, s najvećom zabilježenom razinom od 12,85 m n.m., a najnižom 9,05 m n.m. što implicira da bi se ukoliko se nastavi spomenuti trend opadanja srednjih razina vode u jezeru u razdoblju od predstojećih 100 ili 200 godina mogle dosegnuti vrlo rizične razine vode u Vranskom jezeru.

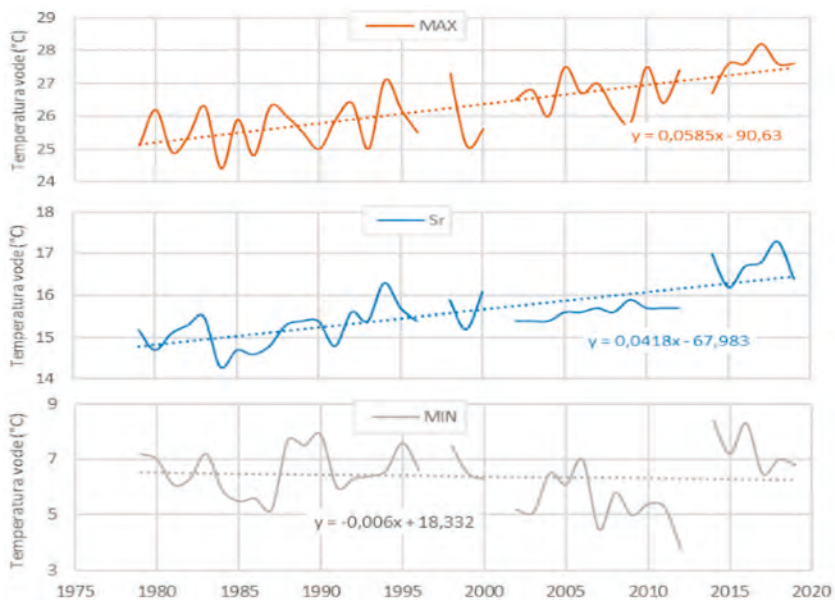
Crpljenja vode iz jezerskog sustava ne predstavljaju najveći gubitak vode iz jezerskog sustava - veći su gubici na evapotranspiraciju, evaporaciju, kao i infiltraciju voda iz jezerskog sustava, ali to su za sada jedini gubici koji se upravljačkim aktivnostima mogu kontrolirati. Moguće je da će se u budućnosti moći utjecati i na evaporaciju (djelomičnim prekrivanjem vodene površine) kao i evapotranspiraciju (djelomična zamjena vegetacijskog pokrova), ali to su za sada ipak spekulativne mogućnosti. Teoretski gledano, povećanje crpljenja vode iz jezera je moguće samo u mjeri u kojoj se smanje gubici vode na infiltraciju iz jezera uslijed smanjenja razine vode uvjetovanog takvim crpljenjima, pri čemu valja voditi računa da se ni u ekstremno sušnim godinama ne dosegne kritična kota stabilnosti jezerskog sustava. Od početka crpljenja do kraja 2021. godine iz jezera je ukupno iscrpljeno oko 96,5 milijuna m³ vode. Uz procjenu da jezero ima srednji volumen vode od oko 220 milijuna m³ pitke vode, to bi bilo oko 44 % od ukupnog volumena jezera. Kada jezero ne bi kompenziralo iscrpljenu vodu na račun smanjenih gubitaka vode na infiltraciju, razina vode u jezera teoretski bi se snizila ispod kote 0 i jezero bi zaslanilo već u sadašnje doba. No, ono ipak uz izvjesno sniženje razine u odnosu na prirodno stanje ima slatku vodu kod koje se električna vodljivost posljednjih desetak godina uglavnom kreće u rasponu između 400 i 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Na osnovu rezultata monitoringa površinske temperature vode i iskazanih trendova, i temperatura vode (Slika 3) je prepoznata kao jedan od kritičnih elemenata koji u budućnosti, u uvjetima očekivanih izraženijih utjecaja klimatskih promjena, može izazvati neželjene posljedice po ekosustav Vranskoga jezera. Unatoč izvjesnih prekida u rezultatima monitoringa temperature vode, vidljivo je da je prisutan naglašen trend povećanja srednjih godišnjih temperatura površinske vode od $4,2\text{ }^{\circ}\text{C}/100$ godina te još značajniji trend povećanja maksimalnih temperatura vode od $5,85\text{ }^{\circ}\text{C}/100$ godina, dok kod minimalnih godišnjih temperatura vode nikakav trend nije zapažen.



Slika 2. Godišnji hod srednjih razina vode u jezeru (1929. - 2021.) i godišnjih količina crpljenja vode za potrebe vodoopskrbe iz jezera (1967. - 2021.)

Praćenja razina podzemnih voda kao i njihovih temperatura i električne vodljivosti (pri vrhu i dnu bušotine) na dvama 2021. godine novouspostavljenim piezometarskim bušotinama PZV i PZM (Tablica 1, Slika 4 i 5), kao i simultana sondiranja promjena spomenutih parametara po dubini vodenog stupca, dala su posebno interesantne rezultate (Slika 5). Tijekom analiziranog razdoblja (17. prosinca 2021. - 15. prosinca 2022.) razina vode u Vranskom jezeru kretala se u rasponu između 9,55 i 11,06 m n.m.



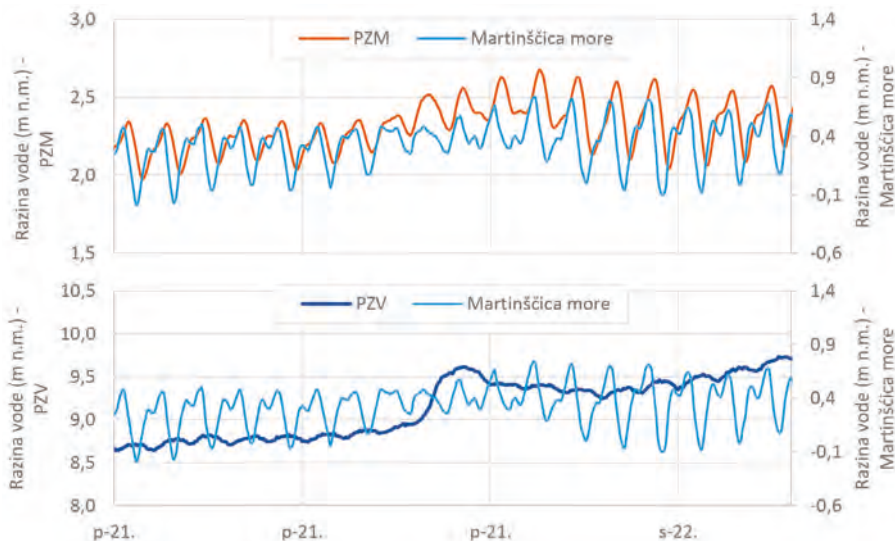
Slika 3. Godišnji hod srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura vode u Vranskom jezeru, kao i njihovi pripadajući trendovi (1979. - 2019.)

Tablica 1. Karakteristične vrijednosti monitoringa razine vode, temperature i električne vodljivosti na kotama unutar izvedenih piezometarskih bušotina PZV (Valun) i PZM (Martinšćica)

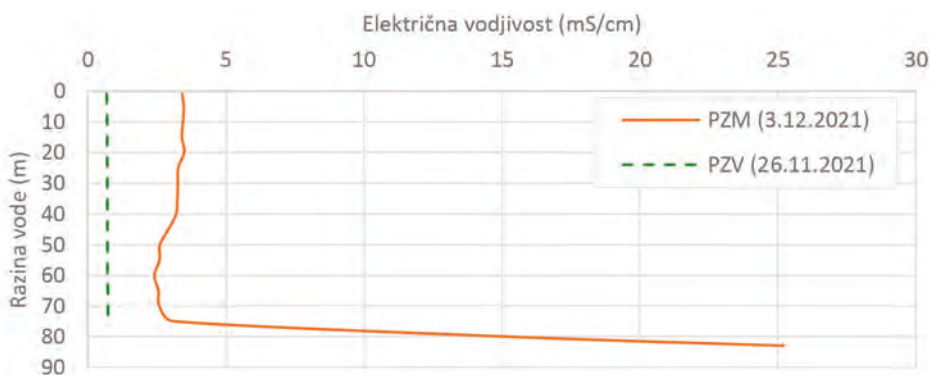
Pok.	Razina (m n.m.)	Temperatura vode (°C)		Električna vodljivost (mS/cm)	
		Piezometar PZV (Valun)			
		-8 m n.m.	-57,5 m n.m.	-8 m n.m.	-57,5 m n.m.
Sr	8,95	13,6	13,6	0,769	0,767
Max	14,1	13,6	13,7	0,866	0,864
Min	7,66	13,6	13,6	0,741	0,748
		Piezometar PZM (Martinšćica)			
		-3,9 m n.m.	-83 m n.m.	-3,9 m n.m.	-83 m n.m.
Sr	2,20	14,2	14,8	1,31	19,6
Max	3,07	14,3	14,8	2,33	23,3
Min	1,77	14,1	14,8	0,99	16,6

Iz danih podataka vidljivo je da se razina vode u piezometru PZM nalazila uvijek značajno ispod razine vode u jezeru, a u piezometru PZV bile u najvećoj mjeru niža - izuzev u situaciji pojave značajnijih oborina i posljedično naglog povećanja razine vode. Iako su piezometri udaljeni od mora oko 1 km, utjecaj mora vidljiv je na njihovim unutardnevnim

kolebanjima (Slika 4). Pri tome su u piezometru PZM amplitude unutardnevnih kolebanja vrlo bliske zabilježenim amplitudama na mareografu Martinšćica (s pomakom od nekoliko sati). Kod piezometra PZV te su amplitude prigušene, i s većim vremenskim zaostajanjima. Na Slici 5 vidljivo je da je pri provedenom sondiranju po dubini bušotine kod piezometra PZV utvrđeno da postoji praktički identična električna vodljivost po cijeloj dubini bušotine, dok kod piezometra PZM postoji naglašena granica promjene pri dnu bušotine, na dubini od oko 75 m ispod razine mora.



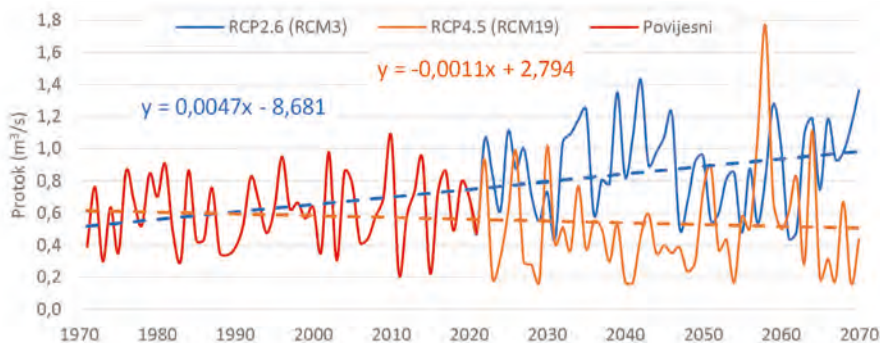
Slika 4. Prikaz razine vode u piezometrima Valun i Martinšćica u usporedbi s razinama mora na mareografu Martinšćica (17. 12. 2021. - 15. 12. 2022.)



Slika 5. Prikaz električne vodljivosti vode po dubini u piezometrima Martinšćica (3.12.2021) i Valun (26.11.2021.)

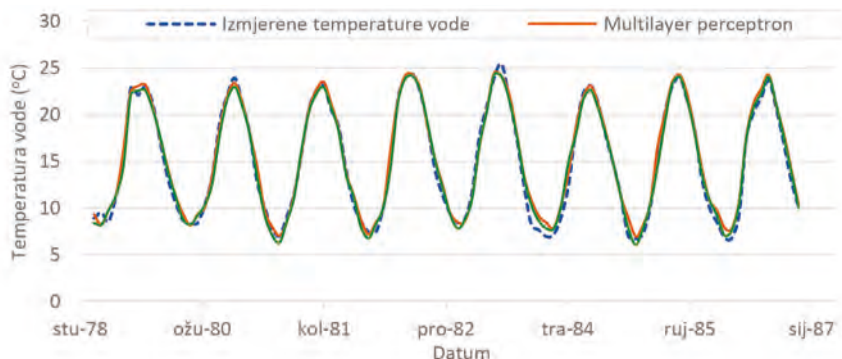
3. REZULTATI MODELIRANJA

Modeliranja dotoka u jezerski sustav u okviru UKV projekta provedeno je na osnovu zabilježenih podataka o srednjim godišnjim oborinama i temperaturama zraka povijesnog niza 1971. - 2021., kao i generiranih nizova podataka prema tri klimatska scenarija (RCP2.6, RCP4.5 i RCP8.5) s po tri različita klimatska modela unutar svakog scenarija za razdoblje 1971. - 2070. Pri tome je korištena identična metodologija kao u ranijem projektu CCWaterS (Rubinić i drugi, 2011), ali s noveliranim klimatskim scenarijima i s više unaprijedenih klimatskih modela (Biondić i drugi, 2022). Na Slici 6 dan je prikaz prema iskazanim trendovima (pozitivnom i negativnom), najizrazitijih rezultata modeliranih podataka o protocima nastavljenih na povijesni niz podataka. Iz njega je vidljivo da se potkraj analiziranog razdoblja u budućnosti mogu, ovisno o klimatskom scenariju i modelu, očekivati vrlo različiti protoci - u rasponu od njihova porasta do njihovog naglašenijeg smanjivanja, posebno pri kraju toga razdoblja kod modela RCM19 pri scenariju RCP4.5, prema kome je moguće očekivati oko 19 % manje srednje dotoke u 30-godišnjem razdoblju 2041. - 2070. u odnosu na razdoblje 1981. - 2020.

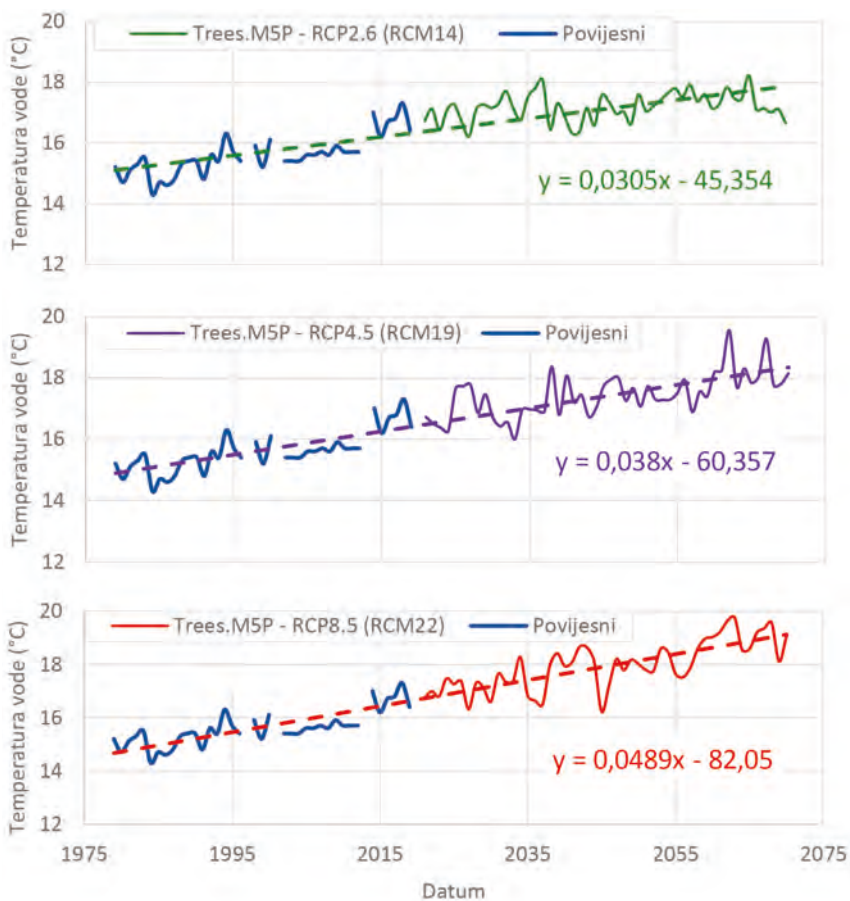


Slika 6. Prikaz izdvojenih nizova podataka srednjih godišnjih dotoka za dva granična slučaja iskazanih trendova odabranih scenarija i modela za Vransko jezero (1971. - 2070.)

U okviru Projekta UKV (Biondić i drugi, 2022) provedeno je i modeliranje mogućih promjena površinske temperature vode u jezeru, pri čemu su korišteni alati strojnog učenja dvama klasama modela - neuronskim mrežama pri čemu je uzeta mreža *Multilayer perceptron* (u nastavku skraćeno MLP) te modelom s regresijskim stablima *Trees.M5P*. Modeliranje temperatura vode provedeno je na povijesnom nizu od 1979. do 2021. godine na način da je niz podataka (1987. - 2021.) korišten za treniranje modela, a niz 1979. - 1986. za verifikaciju dobivenih rezultata modeliranja. Postignuta je izuzetno dobra podudarnost i izmjerenih i modeliranih podataka prema objema klasama modela (Slika 7). Koristeći iste klimatske scenarije i modele kao i kod modeliranja dotoka u jezerski sustav, generirani su nizovi podataka o temperaturama površinskog sloja vode u Vranskom jezeru. Kod svih njih prognoziran je nastavak trend povećanja srednjih godišnjih temperature vode s gradijentom između 3,0 °C/100 god. (prema modelu RCM14 klimatskog scenarija RCP 2.6.), 3,8 °C/100 god. (prema modelu RCM19 klimatskog scenarija RCP 4.5.) te za čak 4,9 °C/100 god. (prema modelu RCM22 klimatskog scenarija RCP 8.5.) (Slika 8).



Slika 7. Prikaz izmjerenih i modeliranih (MPL i Trees.M5P) temperatura vode (1979. - 1986.)



Slika 8. Usporedni prikaz povijesnih i prema različitim klimatskim scenarijima i modelima generiranih sintetičkih nizova srednjih godišnjih temperatura vode s pripadajućim trendovima

ZAKLJUČCI

Na temelju rezultata novijih istraživanja Vranskog jezera na Cresu, temeljenih na novouspostavljenim lokalitetima monitoringa podzemnih voda Hrvatskih voda, EU Projekta UKV, kao i noveliranih modeliranja mogućih učinaka klimatskih promjena u budućnosti, osigurana su ne samo dodatna saznanja o hidrološkom sustavu Vranskoga jezera na otoku Cresu, nego i dodatni mehanizmi njegove zaštite. Prije svega se to odnosi na mogućnost praćenja dinamike prodora zaslanjene morske vode u dijelove otočkog krškog vodonosnika koji okružuje Vransko jezero u za sada izvedenim dvama 200 - metarskim bušotinama koje prate stanje i na rubnim dijelovima vodonosnika izloženim utjecaju mora. Rezultati provedenih modeliranja dotoka i temperatura vode Vranskog jezera u budućnosti ukazuju na rizike od mogućih neželjenih promjena te je stoga nužno nastaviti izgrađivati sustav monitoringa, redovnog procesiranja podataka u realnom vremenu i njihovog uključenja u modeliranja. To je važno kako radi osiguranja daljnje vodoopskrbe u smislu ocjena o mogućnostima i ograničenjima vezanim uz osiguranje dodatnih količina voda za tu namjenu, tako i u svrhu očuvanja prirodnog ekosustava ovoga otočkog fenomena.

LITERATURA

- [1] Biondić, B., Ivičić, D., Prelogović, E. (1993): *The hydrology of the Lake of Vrana the Cres Island, Proceedings of the International Symposium "Geomorphology and Sea"*, 25-36.
- [2] Biondić, B., Ivičić, D., Kapelj, S., Mesić, S. (1995): *Hidrogeologija Vranskog jezera na otoku Cresu, Zbornik radova 1. Hrvatskog geološkog kongresa*, 89-94.
- [3] Biondić, R. (ur.) (2023): *Upravljanje krškim vodonosnicima ugroženima klimatskim promjenama (UKV), Monografija projekta*, Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Varaždin.
- [4] Bonacci, O. (1993): *The Lake Vrana hydrology (Island of Cres - Croatia), Water Resources Bulletin*, 29(3), 407-414.
- [5] Bonacci, O. (1995): *Investigations in karst hydrology of Croatia: The Vrana Lake on the Island of Cres, Acta Geologica*, 25(1), 1-15.
- [6] Bonacci, O. (2014): *Analiza varijacija razine vode jezera Vrana na otoku Cresu, Hrvatske vode*, 22(80), 337-346.
- [7] Bonacci O., Roje-Bonacci, T. (2018): *Analiza odnosa razine podzemne vode i vodostaja Vranskog jezera na otoku Cresu, Hrvatske vode* 103/26, 39-47.
- [8] Cecconi, A. (1940): *Il Regime Idrauliko del Lago di Vrana, Annali dei Lavori Pubblici Capodistria*.
- [9] Fortis, A. (2014): *Ogledu zapažanja o otocima Cresu i Lošinju* (prijevod djela *Saggio d'osservazioni sopra l'isola di Cherso ed Osero*, objavljenog 1771.godine u Veneciji), (Urednik: Bratulić, J., Balenović, D.), Književni krug Split, 406 str.
- [10] Gavazzi, A. (1902): *Temperature vode u prelaznom sloju Vranskog jezera, Rad JAZU, Matematičko-Prirodoslovni Razred*, 32, 18-27.

- [11] Gavazzi, A. (1904): *Die Seen des Karstes*, Abhandlungen der k. k. Geogr Gesell in Wien, 5, 2, VI-136.
- [12] Hertelendi, E., Svingor, E., Rank, D., Futo, I. (1995): *Isotope Investigations of Lake Vrana and Springs in the Kvarner Area*. Prvi hrvatski geološki kongres, Zbornik radova, Opatija, 1995.
- [13] Kuhta, M., Brkić, Ž. (2013): *Seasonal temperature variations of Lake Vrana on the Island of Cres and possible influence of global climate changes*, Journal of Earth Science and Engineering, 3, 225-237.
- [14] Lorenz, R. (1859): *Der Vrana See*. Petermans Georg, Mitt 1, Gotha.
- [15] Mayer, E. (1874): *Der Vrana See auf der Insel Cherso*, Mitt. Geogr. Ges. 16, Wien,
- [16] Morton, F. (1933): *Der Vrana-See auf der italienischen Insel Cherso*, Arch. Hydrobiol., 25, 616-627.
- [17] Ožanić, N., Rubinić, J. (1994): *Analiza hidrološkog režima Vranskog jezera na otoku Cresu*, Hrvatske vode, 2(8), 535-543.
- [18] Petrik, M. (1957): *Hidrološki režim jezera Vrana*, Krš Jugoslavije, 1, 109-161.
- [19] Petrik, M. (1960): *Prilozi limnologiji jezera Vrana*, Krš Jugoslavije, 2, 105-192.
- [20] Petrik, M. (1961): *Raspoloživa količina vode u jezeru Vrani na Cresu*, Građevinar, 13(4), 93-98.
- [21] Rubinić, J., Kuhta, M., Brkić, Ž. (2011): *Test Area Lake Vrana - Cres Island (Croatia)*, EU Project CCWaterS, Hrvatski geološki institut, Zagreb, 2011.
- [22] Rubinić, J., Ožanić, N. (1992): *Hidrološke karakteristike Vranskog jezera na otoku Cresu*, Građevinar, 44(8), 521-530.
- [23] UN (1992): *Utjecaj predviđenih globalnih promjena klima na otočje Cres Lošinj*, Mediteranski akcijski plan i Ministarstvo graditeljstva i zaštite prirode, Odjel za Jadran. Rijeka.

AUTORI

dr. sc. Josip Rubinić^a

Maja Radišić, mag. ing. aedif. ^b

Milan Mihovilović, dipl. ing. geol. ^c

doc. dr. sc. Maja Oštrić ^d

Ivan Tot, dipl. ing. geol. ^e

izv. prof. Igor Ružić ^f

doc. dr. sc. Bojana Horvat ^g

^a GEO-5 d.o.o., Carera 59, Rovinj, 52210, Hrvatska,
rubinic.josip@gmail.com

^b MaLu, Pomerio 11, Rijeka, 51000, Hrvatska,
maja8radisic@gmail.com

^c GEO-5 d.o.o., Carera 59, Rovinj, 52210, Hrvatska,
rovinj.geo5@gmail.com

^d Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000 Hrvatska,
maja.ostric@voda.hr

^e Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000 Hrvatska,
ivan.tot@voda.hr

^f Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka 51000, Hrvatska,
iruzic@uniri.hr

^g Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka 51000, Hrvatska,
bojana.horvat@gradri.uniri.hr



R 1.21.

SUSTAV VRANSKOG JEZERA NA OTOKU CRESU U KONTEKSTU VODOOPSKRBE

Nevenka Ožanić, Ivana Sušanj Čule

SAŽETAK: Kao dio kompleksnog sustava otočkog krškog akvifera, Vransko jezero na otoku Cresu funkcionira na dinamičkoj ravnoteži slatke vode i mora. Jezero je dio vodoopskrbnog sustava otoka Cresa i Lošinja od 50-ih godina prošlog stoljeća, a s impresivnim volumenom od oko 220 milijuna. m³ na inače vodom siromašnom otoku Cresu predstavlja jedini izvor pitke vode. Voda u jezeru je izuzetne kakvoće pa se u vodoopskrbnom sustavu koristi bez potrebe za kondicioniranjem vode osim preventivne dezinfekcije. Vransko je jezero već dugo u fokusu istraživanja u smislu zaštite i stabilnosti vodnog sustava te utjecaja klimatskih promjena i povećanja crpljenja za potrebe vodoopskrbe na isti. Cilj rada je dati pregled istraživanja Vranskog jezera u kontekstu vodoopskrbe. Ranjivost ovakvog specifičnog sustava očituje se kroz utjecaj klimatskih promjena, moguće onečišćenje te povećanu potrošnju vode pod pritiskom razvoja turizma, pa je važno poznavati način funkcioniranja jezera u cilju predviđanja ponašanja istog pri negativnim utjecajima kao što su sušna razdoblja i povećane potrošnje vode u ljetnim mjesecima. U radu će biti prikazane osnovne hidrološke karakteristike jezera, s izračunom dotoka i otjecanja sa sliva jezera temeljenog na bilanci voda, pregled važnijih provedenih znanstvenih istraživanja, te analiziran problem utjecaja crpljenja iz jezera na sniženje razine vode u jezeru.

KLJUČNE RIJEČI: Vransko jezero, Otočki krški akvifer, Crpljenje, Zaštita jezera

LAKE VRANA SYSTEM ON CRES ISLAND IN VIEW OF WATER SUPPLY

ABSTRACT: As part of the complex system of the island's karst aquifer, Lake Vrana on Cres Island has a dynamic balance between freshwater and the sea. The lake has been included in the water supply system of the islands of Cres and Lošinj since the 1950s, and, with an impressive volume of about 220 million m³, it is the only source of drinking water on the otherwise water scarce Cres Island. The water in the lake is of exceptional quality and is used in the water supply system without a need for water conditioning, except for preventive disinfection. Lake Vrana has long been the focus of research related to the protection and stability of the water system and the impact of climate change and increased pumping for water supply on the lake. The aim of the paper is to provide an overview of

the research of Lake Vrana in view of water supply. The vulnerability of such a specific system is manifested through climate change impact, possible pollution and increased water consumption due to tourism development, so it is important to understand the way in which the lake functions in order to predict its behavior under negative impacts, such as dry periods and increased water consumption in summer months. The paper will present the basic hydrological characteristics of the lake, the calculation of inflows and outflows from the lake basin based on water balance, and provide an overview of the most important scientific research that has been conducted, including an analysis of the impact of water abstraction on the lowering of water levels in the lake.

KEYWORDS: Lake Vrana, Island karst aquifer, Water abstraction, Lake protection

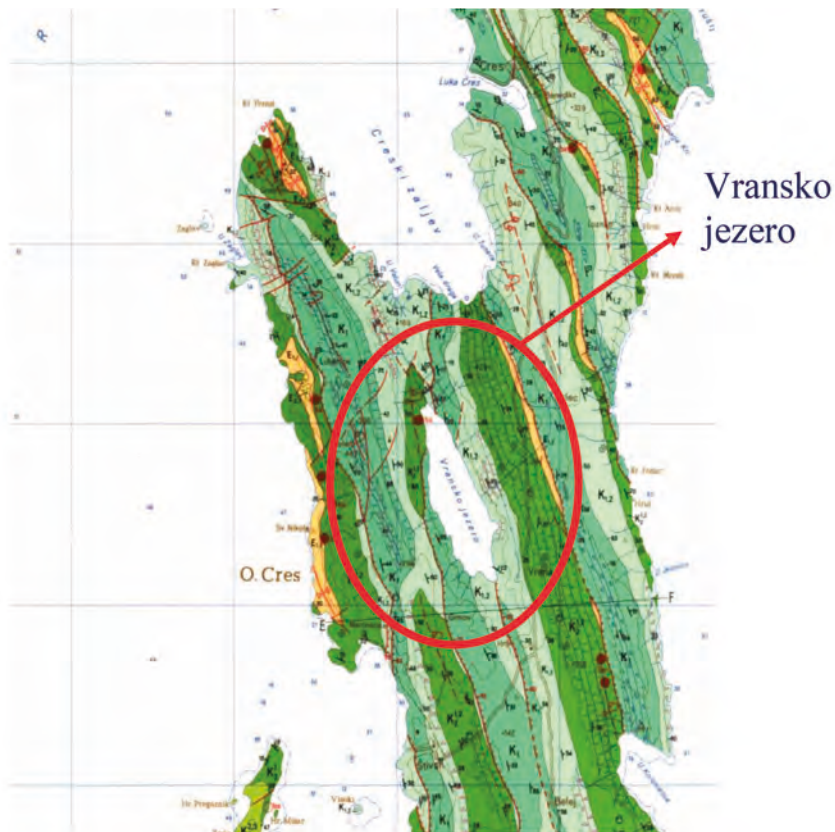
1. UVOD

U središnjem dijelu otoka Cresala nalazi se Vransko jezero. Cres je otok izduženog oblika u sjevernom dijelu Jadranskog mora, jedan je od najkrševitijih i najvećih kvarnerskih otoka površine 405,78 km² (Slika 1) (Biondić i dr., 1993.).

Vransko jezero na otoku Cresu uistinu je jedinstven prirodno-geografski fenomen, čiji vinski položaj u odnosu na razinu mora, kao i okolnost da nema lokacija dotoka i gubitaka iz jezera još više pridonose njegovoj specifičnosti. Jezero predstavlja i jedini veći izvor pitke vode na kvarnerskim otocima. Vransko je jezero najveća kriptodepresija u Hrvatskoj kojoj se dno jezera nalazi se na 61,3 m ispod srednje razine mora. Pri srednjoj razini jezera, mjerenoj u razdoblju 1929. - 2022. koja iznosi 12,61 m n.m., zauzima površinu od 5,69 km² i volumen od oko 220 milijuna m³.

Razina jezera kreće se od maksimalnih 16,70 m n.m. izmjerenih 1938. do minimalno zabilježenih 9,11 m n.m. 1990. godine. Srednja mjesečna oborina u cjelokupnom razdoblju mjerenja 1926. - 2022. iznosi 1076,5 mm.

Brojni znanstvenici - istraživači bavili su se fenomenom Vranskog jezera (Lorenz, 1859.), (Mayer 1873.), (Bonacci, 1995. i 2014.), (Hertelendi i dr. 1995.), a posebna je pozornost od samog početka mjerenja posvećena problematici utvrđivanja mogućnosti crpljenja vode iz jezera još od Cecconija 1939. nadalje (Ožanić, 1993.). Krajem osamdesetih godina kada dolazi do drastičnog opadanja razine jezera, najvećeg od 1928., razlog zbog kojeg su tada pokrenuti veliki multidisciplinarni istražni radovi. Vezano uz spomenutu pojavu značajnog opadanja razine jezera u razdoblju 1985. - 1990., započinju i detaljna hidrološka istraživanja, nositelj kojih je „Vodoprivreda” Rijeka, a koja su rezultirala studijom „Analiza hidroloških karakteristika Vranskog jezera na otoku Cresu” (Rubinić, 1990.) i Magistrarskim radom (Ožanić, 1993.) i Doktorskim radom (Ožanić, 1996.). S obzirom na to da se i prihranjivanje i otjecanje iz jezera obavlja za sada nelokaliziranim podzemnim putevima, dobiveni rezultati spomenutih istraživanja ukazali su na izrazito složenu problematiku kvantificiranja njihovih vrijednosti u funkciji mjerenih vrijednosti hidrološke bilance.



Slika 1. Geološka karta sa lokacijom Vranskog jezera na otoku Cresu
(<http://webgis.hgi-cgs.hr/gk300/default.aspx>)

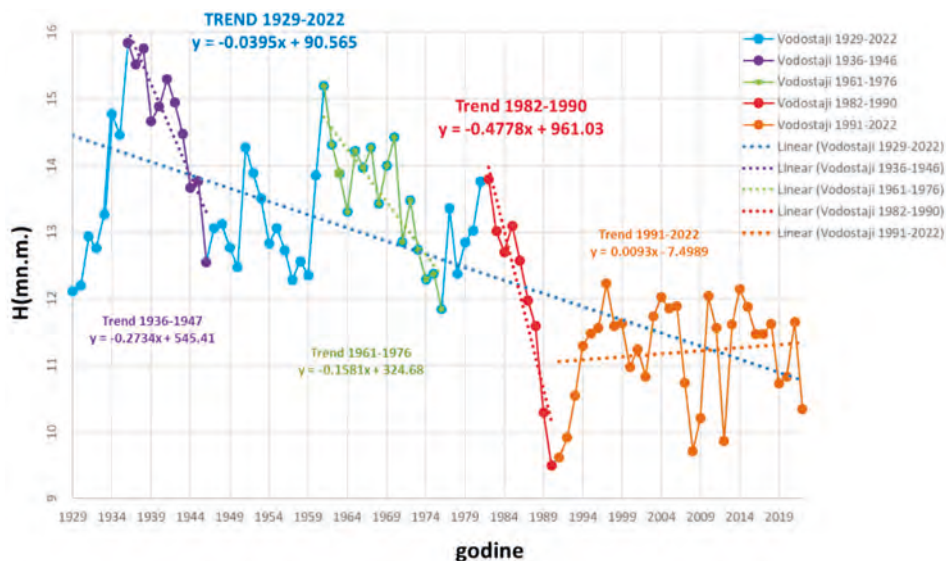
Možda najznačajniji rezultat tih istraživanja bio je zaključak da Vransko jezero nije izolirana vodna pojava, već funkcionira lokalno - kao dio šireg otočkog vodonosnika. Pri tome se i prihranjivanje i otjecanje iz jezera odvija nelokaliziranim podzemnim putevima. Kao rezultat analize vodne bilance i crpljenja iz Vranskog jezera nije prihvaćena dotadašnja procjena mogućih dodatnih crpljenja iz jezera (Golubić, S. (1962.), (Petrik 1961. i 1969.)). Spomenuta naglašena opadanja razine jezera tijekom tog razdoblja ocijenjena su kao i normalna posljedica neuobičajeno sušnih hidroloških prilika, ali također i kao posljedica crpljenja vode iz jezera.

U ovom su radu meteorološki i hidrološki podaci nadopunjeni podacima do 2022. godine kako bi se analizom potvrdili, nadopunili ili donijeli novi zaključci vezano uz crpljenje iz Vranskog jezera i njegovu opstojnost.

2. CRPLJENJA IZ VRANSKOG JEZERA ZA VODOOPSKRBU

Najznačajnija vodna pojava na otoku Cresu - Vransko jezero, jedini je izvor vodoopskrbe otoka Cresa i Lošinja, pa zbog toga ima izuzetno veliki gospodarski značaj za ovo izrazito turističko područje.

Na slici 2 i 3 dan je grafiĳki prikaz nadopunjenih nizova podataka koji se prate još od 1926. (oborine), vodostaji od 1928., te crpljenja od 1954. godine, sa pripadajućim trendovima za razdoblje 1929. - 2022.



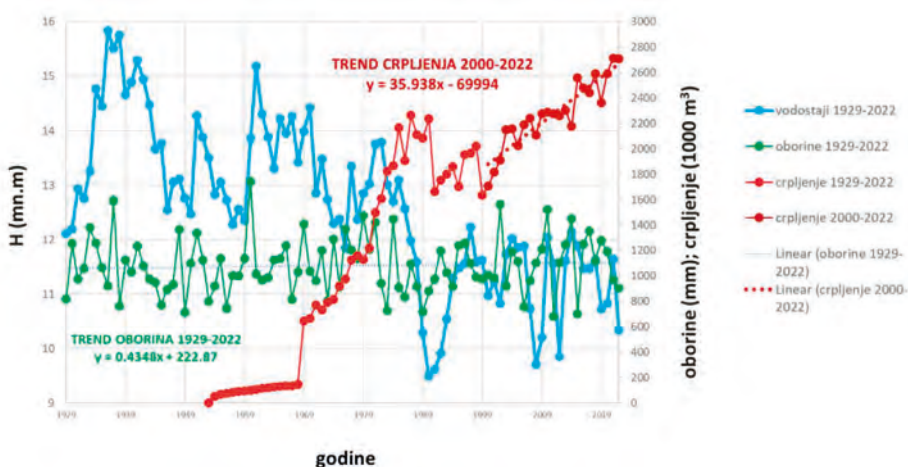
Slika 2. Srednji godišnji vodostaji Vranskog jezera sa karakteristiĳnim trendovima (1929. - 2022.)

Detaljnomo analizom u (Ožanić, 1996) kao i iz slike 2 vidljiva je tromost jezerskog sustava, posljedica kojeg je postojanje izrazitijih trendova višegodišnjeg opadanja srednjih godišnjih vodostaja od kojih je bio najizrazitiji - gotovo 48 cm godišnje u razdoblju 1982. - 1990. Uoĳljiva je takoĳer izvjesna periodiĳnost pri kolebanjima vodostaja, a ciklus izmjene razdoblja pojava visokih i niskih sr. god. vodostaja nije pravilan. Ipak, može se uoĳiti da prosjeĳno trajanje jednog cjelovitog sušno - vodnog razdoblja traje oko 15 godina. Za cjelokupno mjereno razdoblje 1929. - 2022. trend smanjenja vodostaja iznosio je oko 4 cm.

Kada se promatra razdoblje nakon drastiĳnog trenda smanjenja srednjih godišnjih vodostaja od 1991. - 2022. uoĳava se stabilizacija vodostaja oko nove srednje vrijednosti, odnosno trend porasta od oko 1 cm godišnje bez obzira na znaĳajni porast crpljenja iz jezera. Trend porasta crpljenja iz jezera u razdoblju 2000. - 2022. znaĳajan je nakon oporavka gospodarstva u Republici Hrvatskoj, pogotovo turizma nakon domovinskog rata (Slika 3) i iznosi oko $35,9 \times 10^3 \text{ m}^3$. Godišnje oborine u cijelomo promatranom razdoblju (1929. - 2022.) osciliraju oko srednje vrijednosti - 1081,8 mm a trend u tom razdoblju iznosi 0,4 mm (Slika 3).

Što se samog crpljenja iz Vranskog jezera tiĳe moramo naglasiti da se od 1987. kada su zapoĳeta probna crpljenja na tada novoj crpnoj postaji koja ima projektirani kapacitet $5 \times 87,5 \text{ ls}^{-1}$, za sada rade tri crpke kojima je stvarni kapacitet oko 90 ls^{-1} . Prema dosadašnjim mjerenim podacima iz jezera se maksimalno crpi godišnje do oko $2,715 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode (izmjereno 2021.). Kako su proraĳunati prosjeĳni godišnji dotoci oko $19 \times 10^6 \text{ m}^3$, a pri

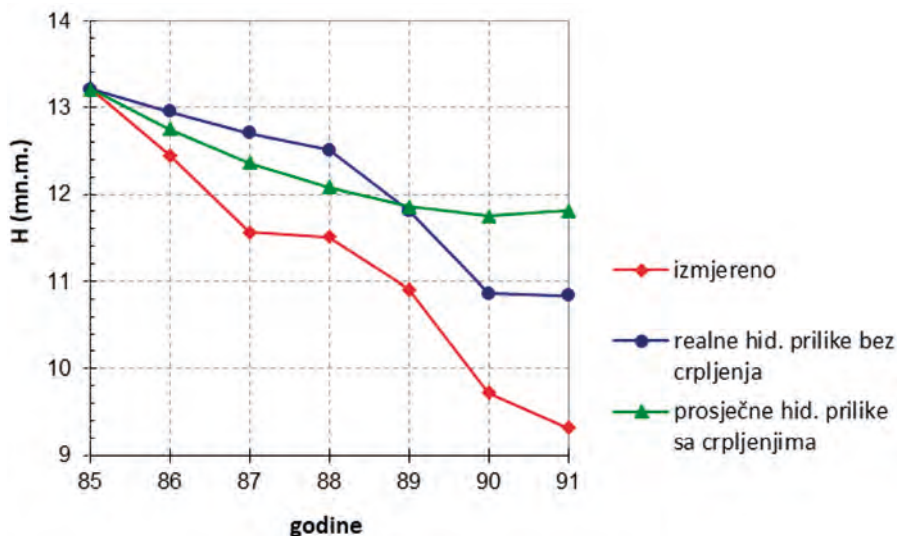
srednjem vodostaju gubici na evaporaciju su reda veličine $6,7 \times 10^6 \text{ m}^3$, te gubici na poniranje iz jezerskog sustava oko $11,7 \text{ m}^3$ (Ožanić i dr. 2018.), crpljenja ipak unose neravnotežu u sustav Vranskog jezera, te utječu na sniženje srednje razine jezera. To sniženje srednje razine odvija se do slučaja kada se smanje gubici na poniranje u veličini porasta količine crpljenja. Naime, utvrđena je funkcionalna veza između količine poniranja i razine vode u jezeru, pri čemu njen gradijent u domeni osmotrenih vodostaja po svakom metru približno iznosi $0,028 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Ožanić, 1996.).



Slika 3. Godišnje oborine, crpljenja i srednji godišnji vodostaji Vranskog jezera s karakterističnim trendovima (1929. - 2022.)

Od početka crpljenja od 1952. do kraja 2022 godine iz jezera je iscrpljeno ukupno cca $101 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode. Kako se, unatoč izrazitom trendu opadanja razine jezera u razdoblju 1982. - 1990. godine, srednja razina jezera nije snizila u tolikoj mjeri, zaključeno je da je taj gubitak vode iz jezera kompenziran promjenom stanja hidroloških prilika - u prvom redu smanjenjem gubitaka iz akvifera jezera, a dijelom i zbog povećanog prihranjivanja jezera iz njegovog podzemnog akvifera (Slika 4) (Ožanić, 1996.).

Zbog dimenzija Vranskog jezera, odnosno njegove velike površine i volumena u odnosu na količine crpljenja, utjecaj samog crpljenja ako se promatraju kratka vremenska razdoblja nije naglašen, ali je evidentan. Dokaz za to su ljetni mjeseci, poglavito turistički izrazito posjećen mjesec kolovoz, kada se tijekom recesije vodostaja jezera, pod utjecajem crpljenja povećava prosječni gradijent opadanja vodostaja. U najučestalijem razredu zabilježenih vodostaja (12,00 m n.m. - 13,00 m n.m.) prosječno opadanje vodostaja nakon početka značajnijih crpljenja 1969. godine povećano je od prosječnih 0,89 na 1,05 cm na dan (Ožanić i Rubinić, 1994.), da bi 2021. iznosio 1,11 cm na dan. Kada se te male razlike kumulativno izraze na razinu mjesečnog podatka ili višegodišnjeg niza, dobivaju se značajni iznosi, pa utjecaj crpljenja nikako ne smijemo zanemariti. Na to ukazuje i izraziti trend povećanja crpljenja u razdoblju 2000. - 2022. (Slika 3). Vidljivo je također da u spomenutom razdoblju (2000. - 2022.), vodostaji i oborine osciliraju oko nove srednje vrijednosti (Slika 3), što se može objasniti smanjenjem gubitaka na poniranje koji su značajno manji kod nižih razina vodostaja (između 11 m n.m. i 12 m n.m.).



Slika 4. Rezultati analize uzroka opadanja vodostaja Vranskog jezera (1985. - 1990.)

Da bi se utvrdilo koliki je ukupan utjecaj crpljenja na sniženje razine vode Vranskog jezera, matematičkim modelom Vrana provedeno je novo modelsko simuliranje ponašanja jezera uz uvjet nepostojanja crpljenja, kao i za slučaj da su ona prosječno $0,100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, tj. veća od do sada dosegnutih $0,086 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Iterativnim postupkom proračunate su vrijednosti srednjih razina jezera pri navedenim simulacijama. Proračunata vrijednost srednje godišnje razine jezera na kraju simulacije 2022. u situaciji koja bi bila da nije bilo crpljenja iz jezera iznosi 12,63 m n.m., što je za 2,29 m više od stvarno zabilježene razine koja iznosi 10,34 m n.m. Tako je aktivni volumen jezera smanjen za oko $11,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode.

Simulacijom crpljenja iz Vranskog jezera u veličini od $0,100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, dobiveno je da bi srednja razina vode na kraju simulacije iznosila 9,32 m n.m. Prema raspoloživim spoznajama o ravnoteži slatke i slane vode na osnovama Ghyben - Herzbergovog zakona, modelom proračunata minimalna razina vode u jezeru u uvjetima povećanja crpljenja vode iz jezera ne bi trebala predstavljati opasnost od prodora mora u jezerski sustav. No, s obzirom da se radi o ekstrapolaciji ponašanja jezerskog sustava na osnovu zabilježenih podataka pri višim razinama vode u jezeru, nužno je da se povećanju količine crpljenja prilazi postupno i uz strogu kontrolu ponašanja jezera i promjenama u kemizmu njegovih voda pogotovo u svjetlu sve zamjetnijih posljedica klimatskih promjena.

Rezultati provedenih ranijih i novo provedenih hidroloških analiza Vranskog jezera dvije vrlo važne činjenice:

1. crpljenje iz jezera izaziva sniženje razine jezera;
2. procjena veličine gubitaka iz jezera te s njom u svezi i ostalih elemenata vodne bilance izvršena je u prihvatljivim granicama.

ZAKLJUČAK

Vransko jezero na otoku Cresu neprocjenjivo je vrijedan prirodni otočki fenomen čiji je vodni potencijal uvjetovao razvoj društveno ekonomskih prilika na otocima Cresu i Lošinj. U cilju osiguranja njegove opstojnosti i kvalitete njegovih voda, nužno je osigurati zaštitu jezera od eventualnog precrpljivanja. Unatoč značajnim dimenzijama Vranskog jezera i njegova akvifera, ono predstavlja jedan osjetljiv hidrološki sustav koji funkcionira u dinamičkoj ravnoteži s morem.

U ovom radu je analiziran samo dio hidrološkog aspekta takvog problema, a multidisciplinarno istraživanje biti će neophodno za cjelovitu hidrološku analizu. Modeliranjem sa nadopunjenim meteorološkim i hidrološkim podacima potvrđeno je da crpljenje iz Vranskog jezera za potrebe vodoopskrbe otoka Cresa i Lošinja je element koji unosi neravnotežu u cijeli vodonosnik, radi čijeg uravnoteženja dolazi i do sniženja razine jezera, što je očekivana pojava. Rezultati hidroloških istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu u posljednjih tridesetak godina (za razdoblje 1995. - 2022.), pokazali su da i oborine, vodostaji i crpljenja iz jezera nisu značajnije odstupali od prosječnih vrijednosti višegodišnjeg razdoblja (oborine i crpljenja) ili unutar novo-uspostavljenih prosječnih vrijednosti (vodostaji).

Iz svega navedenog proizlazi da postojeća dosegnuta količina crpljenja, ali i sa neminovnim povećanjem potrošnje vode u skladu s razvojem standarda u budućnosti kao i povećanjem drugih potreba za vodom, donosi nove rizike za narušavanje postojeće količine i kvalitete vode Vranskog jezera. Kolike su maksimalne mogućnosti povećanja crpljenja u uvjetima klimatskih promjena i eventualnih daljnjih sniženja razine vode u jezeru planira se utvrditi daljnjim detaljnijim hidrološkim istraživanjima uvažavajući novonastale okolnosti i većom količinom raspoloživih podataka uz korištenjem novijih metodologija za provedbu hidroloških analiza.

Zbog značaja samog jezera za lokalnu zajednicu, ističemo neophodnost osiguranja nastavka praćenja ranije započetih parametara, rezultat kojih mora biti sigurnija zaštita i opstojnost jezera kako za potrebe ovog, tako i budućih generacija.

ZAHVALA

Rad je napisan temeljem aktivnosti koje se provode u sklopu projekata koje je sufinanciralo je Sveučilište u Rijeci i to: *Hidrologija vodnih resursa i identifikacija rizika od poplava i blatnih tokova na krškim područjima (UNIRI-TEHNIC-18-54)*, *Održivo upravljanje riječnim slivom implementacijom inovativnih metodologija, pristupa i alata (UNIRI-TEHNIC-18-129)* i *Razvoj metodologije ocjene kvalitete, zaštite i revitalizacije malih urbanih vodnih resursa ZIP-UNIRI-1500-2-22*.

LITERATURA

- [1] Biondić, B.; Ivičić, D.; Prelogović, E. (1993.): The hydrology of the Lake of Vrana the Cres Island. *Proceedings of the International Symposium "Geomorphology and Sea"*, 25-36
- [2] Bonacci, O. (1995.): Investigations in karst hydrology of Croatia: The Vrana Lake on the Island of Cres. *Acta Geologica*, 25(1), 1-15
- [3] Bonacci, O. (2014): Analiza varijacija razine vode jezera Vra na otoku Cresu. *Hrvatske vode: časopis za vodno gospodarstvo*. 22, 90; 337-346
- [4] Golubić, S. (1962.): O problemima zagađenja i zaštite voda s osobitim osvrtom na jezero Vrana na otoku Cresu. *Obavještenja (Higijena, Epidemiologija, Zdravstveno prosvjećivanje)*, V(4), 273-282
- [5] Lorenz, R. (1859.): *Der Vrana See*. Petermans Georg, Mitt 1, Gotha
- [6] Mayer, E. (1873.): *Der Vrana See auf der Insel Cherso*. Mitt. Geogr. Ges. 16, Wien
- [7] Ožanić, N. (1994.): *Hidrologija jezera Vrana na otoku Cresu*. Magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- [8] Ožanić, N. (1996.): *Hidrološki model funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu*. Disertacija. Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu: 139 pp.
- [9] Ožanić, N., Rubinić, J. (1994.): *Analiza hidrološkog režima Vranskog jezera na otoku Cresu*. *Hrvatske vode* 8(2): 535-543
- [10] Ožanić, N., Sušanj-Čule, I., Žic, E., Krvavica, N., Volf, G. (2018.): *Hidrološka analiza varijacija razine vode jezera Vrana na otoku Cresu*. Znanstveno-stručni skup: Hidrologija u službi zaštite i korištenja voda, te smanjivanja poplavnih rizika- Suvremeni trendovi i pristupi
- [11] Petrik, M. (1961.): *Raspoloživa količina vode u jezeru Vrani na Cresu*. Građevinar 4, Zagreb
- [12] Petrik, M. (1969.): *Mišljenje o mogućnostima iskorišćavanja jezera Vrane na Cresu za opskrbu stanovništva vodom*. Fond stručne dokumentacije Rijekaprojekta, Rijeka
- [13] Rubinić, J. (1990.): *Analiza hidroloških karakteristika Vranskog jezera na otoku Cresu*. Fond stručne dokumentacije Vodoprivreda, Rijeka
- [14] <http://webgis.hgi-cgs.hr/gk300/default.aspx>

AUTORI

prof. dr. sc. Nevenka Ožanić ^a

doc. dr. sc. Ivana Sušanj Čule ^a

^a Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, nozanic@uniri.hr, isusanj@gradri.uniri.hr



R 1.22.

ISKUSTVA U MODELIRANJU OTJECANJA U KRŠU - SLIV RIJEKE LIKE

Renata Vidaković Šutić, Tanja Lubura Matković, Vedrana Ričković

SAŽETAK: Povezanost površinskih tokova i podzemnih voda glavna je značajka krških slivova. Hidrološkim analizama velikih voda na krškim slivovima utvrđeno je, da ista količina i intenzitet oborine vrlo često rezultiraju značajnim razlikama u vršnim protocima i volumenima vodnih valova zabilježenih na izlaznom profilu vodotoka. Glavni uzrok tome je utjecajna slivna površina koja varira ovisno o razvijenosti i zasićenosti podzemnih tokova u vrijeme pojave obilnijih oborina.

Za krške slivove na kojima se raspolože meteorološkim i hidrološkim podacima, procjena veličine utjecajna slivne površine provodi se istraživanjem odnosa pale oborine i zabilježenog otjecanja, koristeći hidrološke simulacijske programske pakete. Prostorni obuhvat analize prikazane u radu je uzvodni dio sliva rijeke Like koji se nalazi izvan značajnijeg utjecaja izgrađenosti i upravljanja vodama.

U radu će se prikazati rezultati procjene utjecajne slivne površine za sliv rijeke Like od izvora do hidrološke postaje Bilaj, dobivenih korištenjem dva metodološki različita simulacijska modela oborina - otjecanje, za iste vremenske serije oborina i protoka.

KLJUČNE RIJEČI: Hidrološko modeliranje, Krški sliv, Utjecajna slivna površina

EXPERIENCES IN MODELLING RUNOFF IN KARST - LIKA RIVER BASIN

ABSTRACT: The connection of surface flows and groundwater is the main feature of karst basins. Hydrological analyses of floods in karst basins have shown that the same or similar volume and intensity of precipitation very frequently results in significant differences in peak discharges and volumes of hydrograph recorded at the downstream profile of a watercourse, the main cause being the hydrogeological basin area, whose value depends on the underground stream network saturation during precipitation periods.

For karst basins where meteorological and hydrological data are available, the size estimation of a hydrogeological basin area is carried out by researching the relationship between the precipitation and recorded runoff, using hydrological simulation software packages. The spatial scope of the analysis presented in the paper is the upstream part of the Lika river basin, which is located outside of a significant water management influence.

The paper presents the results of the size estimation of the hydrogeological basin area for

the Lika river basin from its source to the Bilaj hydrological station, obtained using two methodologically different software packages for the rainfall - runoff simulation and the same time series of precipitation and flow.

KEYWORDS: Hydrological modeling, Karst river basin, Hydrogeological basin area

1. UVOD

Na većini krških slivova u Hrvatskoj veličine slivnih površina utvrđenih po topografskoj (orografskoj) razvodnici i utjecajnih (hidrogeoloških) slivnih površina mogu se značajno razlikovati.

Za razliku od topografske razvodnice koja jednom određena, vrijedi za sve oborinske i hidrološke uvjete, hidrogeološke razvodnice često prostorno variraju ovisno o zatečenim razinama podzemne vode, što ima za posljedicu sudjelovanje različitih veličina slivne površine u procesu otjecanja, čak i u sličnim oborinskim uvjetima.

S ciljem procjene utjecajne slivne površine za sliv rijeke Like od njezinog izvora do hidrološke postaje Bilaj, provedena su istraživanja odnosa oborina - otjecanje pomoću dva simulacijska hidrološka modela koji se koriste u hidrološkoj praksi: HEC - HMS modela i NAM modela (Mike Zero, DHI).

Osnovni ulazni podaci korišteni za analizu su kratkotrajne oborine sa meteorološke postaje Gospić i podaci o protoku na hidrološkoj postaji Bilaj u razdoblju 2010. - 2020. godine., te za NAM model i podaci o potencijalnoj evapotranspiraciji za predmetni sliv. Pri odabiru hidroloških i oborinskih epizoda za analizu i usporedbu rezultata dobivenih modelima u obzir je uzeto nekoliko kriterija. Prema prvom kriteriju, kako bi se iz analize eliminirao utjecaj topljenja snijega, odabrani su kišni događaji s kraja ljetnog ili početka jesenskog razdoblja. Prema drugom kriteriju, kako bi se smanjio utjecaj zasićenog podzemlja, odabrani su kišni događaji koji su se dogodili nakon dužeg razdoblja bez oborina. Treći kriterij je da se posljedični protoci na hidrološkoj postaji kreću u kategoriji srednjih velikih voda, odnosno da se izlazne količine vode ne izlijevaju iz korita.

Razvoj, kalibracija i verifikacija hidroloških modela koji su korišteni za simulacije odabranih kišnih epizoda provedena je u okviru aktivnosti na izradi studijske dokumentacije [1] i [2].

2 OPIS I ZNAČAJKE SLIVA

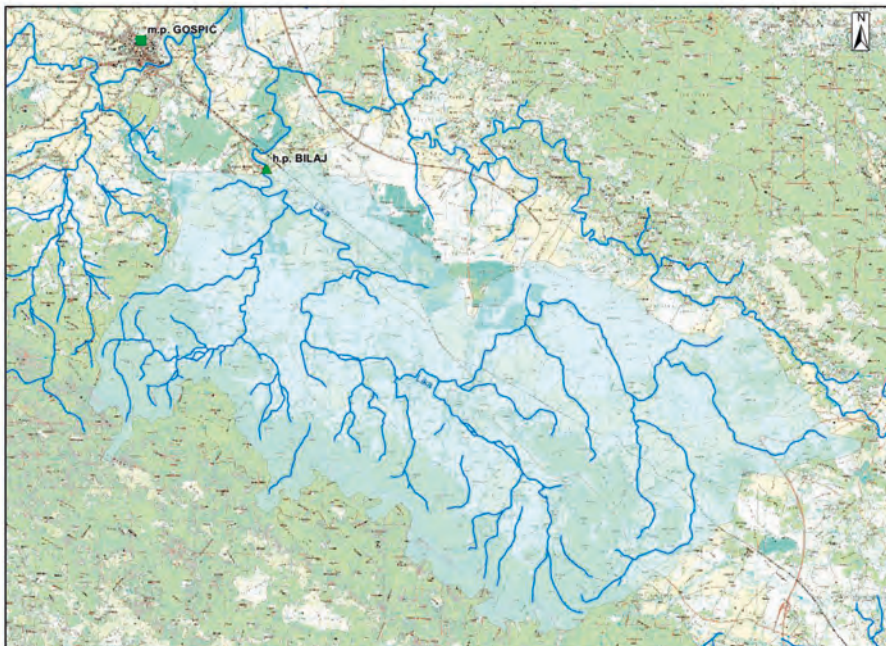
Slivno područje rijeke Like izmijenjeno je izgradnjom hidroenergetskog sustava Senj, te se može reći da brana hidroelektrane Sklope na rijeci Lici dijeli sliv na dva dijela: sliv uzvodno od brane akumulacijskog jezera Krušćica i sliv Like nizvodno od brane, čiji je vodni režim pod izravnim utjecajem reguliranog protoka HE Sklope.

Dio sliva uzvodno od brane HE Sklope pod uspornim je utjecajem akumulacijskog jezera Krušćica, što je osobito izraženo u razdoblju velikih voda. To se primarno odnosi na nizvodni dio korita rijeka Like i Novčice. Hidrološka postaja Bilaj na Lici nalazi se izvan utjecaja uspora.

Površina topografskog (orografskog) sliva Like do hidrološke postaje Bilaj iznosi oko 185 km², dok je ukupna topografska slivna površina sliva Like do brane HE Sklope oko 1.000 km².

Izvorišna zona rijeke Like smještena je na kontaktu karbonatnog i vapnenačkog masiva Velebita. Vrelo je u većem dijelu godine ujednačene izdašnosti, osim u ljetnom razdoblju kad povremeno presuši ili se njegova izdašnost smanjuje na svega nekoliko litara u sekundi. Slivno područje Like na predmetnom potezu od izvora do h.p. Bilaj, prikazano na slici 1., ima razgranatu hidrografsku mrežu koja se sastoji od niza većih i manjih potoka.

Za predmetno područje oborine se bilježe na nekoliko kišomjernih stanica, no za analize prikazane u ovom radu usvojeni su kao mjerodavni, podaci o kratkotrajnim oborinama zabilježenim na meteorološkoj postaji Gospić.



Slika 1. Slivno područje Like do h.p. Bilaj

3. ISTRAŽIVANJE ODNOSA OBORINA - OTJECANJE

3.1 Istraživanje odnosa oborina - otjecanje korištenjem NRCS metode

Za procjenu veličine utjecajne slivne površina provedene su analize transformacije oborine u otjecanje korištenjem HEC - HMS programskog paketa izrađenog u projektu [1]. Proračun efektivne oborine proveden je pomoću NRCS - CN metode. Metoda NRCS - CN procjenjuje kumulativnu efektivnu oborinu kao funkciju ukupne oborine i CN broja, odnosno broja krivulje otjecanja kao karakteristika sliva kojom je definiran infiltracijski kapacitet slivne površine, ovisno o hidrološkom tipu tla, vegetacijskom pokrovu, obradi tla i uvjetima vlažnosti tla.

Metodološki se pretpostavlja da se velike vode javljaju samo uslijed intenzivnih oborina odnosno bez utjecaja otapanja snijega. Nadalje, pretpostavlja se jednolika raspodjela oborine na slivu u prostoru.

Primijenjeni način proračuna velikih voda iz podataka o oborinama, u velikoj mjeri ovisi o površini sliva koja sudjeluje u otjecanju. U ovim je analizama kao i prethodnim analizama [3], utvrđena razlika između topografskih (orografskih) i utjecajnih slivnih površina. Ukupna orografska slivna površina do hidrološke postaje Bilaj na Lici iznosi 185 km².

Kalibracija modelskih parametara u [1] provedena je za više povijesnih događaja za koje su poznati intenziteti oborina na ombrografu Gospić i protoci na hidrološkoj postaji Bilaj u razdoblju 2010. do 2020. godine.

Temeljem provedenih simulacija modelom HEC - HMS [1] za više povijesnih događaja u navedenom razdoblju rezultirajuća površina utjecajnog sliva se kretala od oko 200 km² do 220 km², odnosno za srednje velike vode oko 210 km².

Za provjeru modelom HEC - HMS dobivenih parametara velikih voda Like do profila Bilaj i procijenjenih površina utjecajnog sliva, poslužile su orijentacijske veličine otjecajnih koeficijenata dobivene iz odnosa efektivnih oborina i bruto oborina. Koeficijenti otjecanja ovisno o uvjetima vlažnosti zemljišta kretali su se od 0,53 (za ispodprosječne uvjete) do 0,89 (natprosječne uvjete), što je u skladu s literaturom [3] i smatraju se realno određenima. Ova razmatranja potvrđuju u modelu procijenjenu površinu utjecajnog sliva.

3.2. Istraživanje odnosa oborina - otjecanje korištenjem NAM modela

Za usporednu procjenu veličine utjecajne slivne površine sliva rijeke Like do hidrološke postaje Bilaj kao rezultata prethodno opisane NRCS metode, provedene su analize transformacije oborine u otjecanje korištenjem MIKE 11 NAM programskog paketa izrađenog u projektu [2].

MIKE 11 NAM (NedborAfstromnings Model) model, razvijen od strane Danskog Hidrauličkog Instituta (DHI) je deterministički, konceptualni hidrološki model, koji se koristi za proračun sadržaja vode u (do) četiri različita oblika:

- Snijeg (Snow storage),
- Površinska voda (Surface zone),
- Voda niže zone ili zone zakorjenjivanja (Root zone),
- Podzemna voda (Ground water).

Osnovni ulazni meteorološki podaci su podaci o oborini i potencijalna evapotranspiracija. U slučaju da se razmatra i utjecaj snijega na otjecanje, potrebni su podaci o temperaturi. Pretpostavka je da parametri i varijable predstavljaju prosječne vrijednosti na području cijelog sliva. Rezultat je vremenska serija otjecanja sa sliva na osnovu meteoroloških ulaznih podataka, kao i podataka o ostalim elementima hidrološkog ciklusa (evapotranspiracija, zasićenost tla, razine podzemne vode).

Za potrebe proračuna srednje oborine na slivu, u slučaju nejednoliko raspoređenih postaja NAM koristi metodu Thiessenovih poligona pri čemu se definira utjecajna površina za svaku postaju. Korišteni podaci o potencijalnoj evapotranspiracije definirani su po metodi Penman-Motheith kao srednja mjesečna vrijednost.

Za odabrane događaje iz razdoblja 2010. - 2020. godine, izvršene su simulacije uz sljedeće pretpostavke:

- spremnik snijega nije uzet u obzir,
- pretpostavljena je ravnomjerno raspoređena oborina na slivu izmjerena na m.s Gospić.

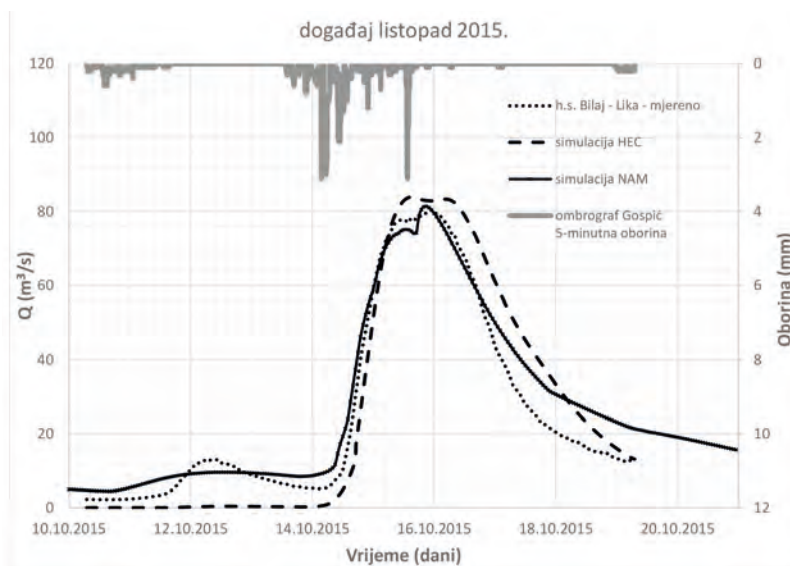
Za pretpostavljene vrijednosti kalibracijskih parametara vršene su simulacije za različite vrijednosti površine sliva počevši od veličine orografske slivne površine do vrijednosti koja uz realni površinski koeficijent otjecanja rezultira dobrim slaganjem simuliranog i izmjenenog hidrograma na h.p. Bilaj, po veličini maksimalnog protoka i po volumenu vodnog vala. Za analizirane oborinske i hidrološke događaje odabrane u razdoblju 2010. - 2020., utvrđena je utjecajna slivna površina sliva Like do h.p. Bilaj, koja se kreće između 200 i 210 km².

3.3 Usporedba rezultata

Od analiziranih događaja prema obje metode, za prikaz u ovom radu odabrani su kišni događaji iz listopada 2015. i rujna 2017. godine.

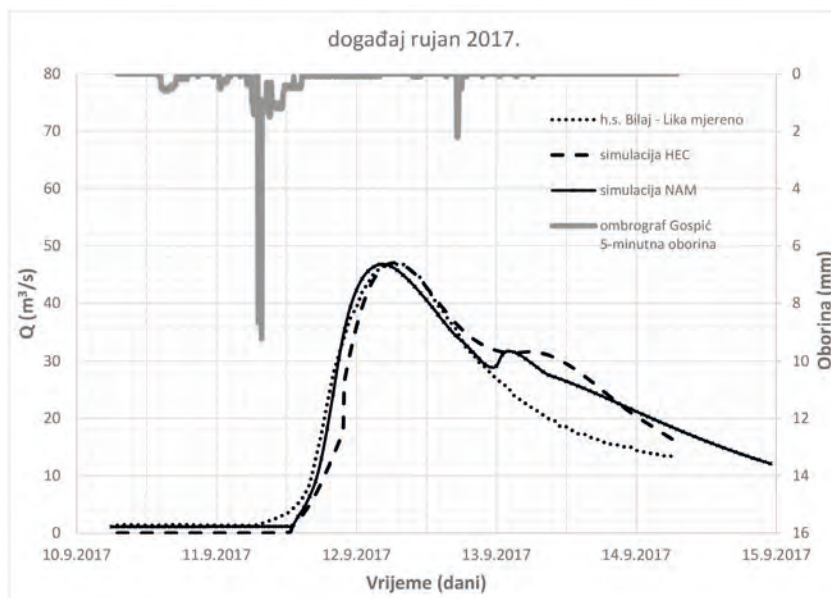
Rezultati simulacije dobiveni korištenjem dva metodološki različita simulacijska modela oborina - otjecanje, za iste vremenske serije oborina i protoka i za približno jednaku utjecajnu slivnu površinu u iznosu od oko 210 km² prikazani su na izmjenenom hidrogramu h.p. Bilaj.

Na slici 2 prikazani su rezultati simulacije za kišni događaj zabilježen na m.p. Gospić u razdoblju od 10. do 19. listopada 2015., dobivenih korištenjem HEC - HMS modela i NAM modela na hidrogramu zabilježenom na h.s. Bilaj na Lici.



Slika 2. Rezultati simulacije kišnog događaja iz listopada 2015., dobivenih korištenjem HEC - HMS modela i NAM modela na hidrogramu h.s. Bilaj

Na slici 3 prikazani su rezultati simulacije za kišni događaj zabilježen na m.p. Gospić u razdoblju od 10. do 14. rujna 2017., dobivenih korištenjem HEC - HMS modela i NAM modela na hidrogramu zabilježenom na h.s. Bilaj na Lici.



Slika 3. Rezultati simulacije kišnog događaja iz rujna 2017., dobivenih korištenjem HEC - HMS modela i NAM modela na hidrogramu h.s. Bilaj

Usporedbom izmjerenih i simuliranih hidrograma prikazanim na slikama 2 i 3, vidljivo je da su korištenjem dva različita modela dobiveni su vrlo slični rezultati za iste vremenske serije oborina i protoka i za približno jednaku utjecajnu slivnu površinu u iznosu oko 210 km².

U prikazanim događajima koji su reda veličine srednjih velikih voda na h.p. Bilaj, za zabilježene ukupne dotoke, odnosno volumene vodnih valova, odgovorna je utjecajna slivna površina u iznosu od oko 210 km², koja je u skladu s utjecajnom slivnom površinom navedenoj u literaturi [3].

Za sve analizirane oborinske i hidrološke događaje iz razdoblju 2010. - 2020., utvrđena je utjecajna slivna površina sliva Like do h.p. Bilaj, koja se kreće između 200 i 210 km² i veća je 8 % - 11 % u odnosu na veličinu topografske slivne površine.

ZAKLJUČAK

Hidrološki modeli su matematički modeli koji opisuju odnose između oborina i otjecanja na nekoj slivnoj površini. U pravilu svi hidrološki modeli rezultiraju hidrogramom površinskog otjecanja kao odgovor na ulazni hijetogram oborina. Na taj način simuliraju proces transformacije oborine u otjecanje.

U ovom radu su korišteni rezultati hidrološkog modela HEC - HMS koji se temelji na NRCS metodi i NAM modela čija se struktura bazira na linearno povezanim spremnicima.

Iako su takvim pristupom korištene različite metodologije i složenost postupka, za usporedive infiltracijske značajke sliva simulacijom su dobiveni vrlo slični rezultati.

Procjenjena utjecajna slivna površina Like do profila h.p. Bilaj kao rezultat istraživanja, potvrđena je dobivenim realnim koeficijentima otjecanja temeljenim na odnosu efektivnih oborina (koje otječu) i bruto oborina (koje padnu na sliv).

Za analizirane oborinske i hidrološke događaje odabrane u razdoblju 2010. - 2020., utvrđena je utjecajna slivna površina sliva Like do h.p. Bilaj, koja se kreće između 200 i 210 km², što je prosječno 11 % više od topografske slivne površine.

Treba naglasiti da dobivene vrijednosti utjecajne slivne površine vrijede za ograničene, prethodno opisane uvjete otjecanja, koji uključuju uvjete bez topljenja snijega, s relativno malim zasićenjem podzemlja, te uz pretpostavku da je kratkotrajna oborina izmjerena na m.p. Gospić ravnomjerno pala na cijeli sliv.

LITERATURA

- [1] Projekt unaprjeđenja negrađevinskih mjera upravljanja rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj - VEPAR - Grupa 3: Unaprjeđenje hidroloških podloga - Hidrološka studija Jadran, Institut za elektroprivredu d.d., Hidroing d.o.o., Vodoprivredno - projektni biro d.d., Proning DHI d.o.o., 2023.
- [2] Prognoistički sustav (VEPAR) Grupa 2 - Prognoistički sustav Jadran, Proning DHI d.o.o., Zagreb, Institut za elektroprivredu d.d., Zagreb, 2023 - u izradi
- [3] Žugaj, R. (1995.): „*Regionalna hidrološka analiza u kršu Hrvatske*“, monografija, Hrvatsko hidrološko društvo, Zagreb
- [4] Podaci i podloge Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske
- [5] Mike Zero, DHI, korisničke upute

AUTORI

Renata Vidaković Šutić, dipl.ing.građ. ^a

Tanja Lubura Matković, dipl.ing.građ. ^a

Vedrana Ričković, dipl.ing.građ. ^a

^a Institut za elektroprivredu d.d., Kupska ulica 2, Zagreb, 10000, Hrvatska, renata.sutic@ie-zagreb.hr, tanja.lubura-matkovic@ie-zagreb.hr, vedrana.rickovic@ie-zagreb.hr



R 1.23.

VODNI RESURSI RIJEKE KRKE UNUTAR NP KRKA

Gordana Goreta, Maja Radišić, Najla Baković, Josip Rubinić

SAŽETAK: Rijeka Krka se velikim dijelom svoga toka nalazi unutar granica NP „Krka“, pri čemu je osnovni prirodni fenomen nacionalnog parka proces stvaranja sedrenih barijera duž njenog toka. Unutar granica Parka formirano je sedam sedrenih barijera ukupne denivelacije blizu 200 m. Površinske i podzemne vode toga prostora uvjetuju egzistenciju složenih ekosustava čija biodinamička ravnoteža ovisi o prirodnim i antropogenim pritiscima. One su u velikoj mjeri pod antropogenim utjecajem korištenja voda za hidroenergetske potrebe jer se u slivu rijeke Krke nalaze tri hidroelektrane i dvije male hidroelektrane. Također se koristi i voda s više izvorišta vodoopskrbe, među kojima su značajniji izvorište Miljacka, Jaruga i Torak.

U radu je dan prikaz osnovnih hidroloških značajki rijeke Krke i uz nju vezanih vodnih resursa, prisutnih pritisaka, kao i mogućih promjena u budućnosti uslijed negativnih utjecaja klimatskih promjena koji se manifestiraju u vidu sve naglašenijih sušnih razdoblja s povremenim pojavama iznimno velikih voda, kao i povećanim temperaturama voda. Pri tome je naglasak dan na količinske promjene koje imaju najveći utjecaj na procese vezane uz prirodni fenomen nacionalnog parka i potrebu osiguranja primjerenog ekološki prihvatljivog protoka. Analizirane su veze površinskih i podzemnih voda, kao i utjecaj na podzemne ekosustave. Posebna pozornost posvećena je recentnim događajima - iznimnoj suši 2021. godine koja je prema podacima s postaje Skradinski buk imala karakter reda 2 % - tne vjerojatnosti, kao i pojavi iznimno velikih voda u svibnju 2023. godine koje su imale karakter 10 % - tne vjerojatnosti.

KLJUČNE RIJEČI: Vodni režim, Ekstremi, Pritisaci, Potrebe ekosustava

WATER RESOURCES OF THE KRKA RIVER WITHIN THE KRKA NATIONAL PARK

ABSTRACT: A large part of the Krka River course lies within the Krka National Park, where the process of tufa barrier formation along the river's course is its main natural phenomenon. Seven tufa barriers with a total gradient of nearly 200 m have formed within the Park's boundaries. The surface waters and groundwater in this area shape complex ecosystems whose biodynamic balance depends on natural and anthropogenic pressures. To a large extent, they are under the anthropogenic influence of water use for hydropower generation, since three HPPs and two small HPPs are located in the Krka River basin. In addition, there is water use as a source for water supply, the most significant being the

Miljacka, Jaruga and Torak springs.

The paper provides an overview of the main hydrological characteristics of the Krka River and its associated water resources, the present pressures, as well as potential changes in the future due to adverse impacts of climate change manifested in more pronounced dry periods, occasional occurrences of extreme flooding events and increased water temperatures. However, the emphasis is on quantitative changes, which have the strongest impact on the processes related to the natural phenomenon of the National Park, i.e. a need for ensuring adequate environmental flow. The paper analyses connections between surface waters and groundwater and their impact on underground ecosystems. A special attention is paid to more recent events - the extreme drought in 2021, which, according to the Skradinski buk HS data, was an occurrence with a 2 % probability, and the extreme flooding in May 2023, which was an occurrence with a 10 % probability.

KEYWORDS: Water regime, Extremes, Pressures, Ecosystem needs

1. UVOD

Vodni resursi rijeke Krke predstavljaju iznimnu vrijednost, a same sedrene barijere na toku Krke su prirodni fenomen NP Krka. Krka ima veliku varijabilnost u protocima, kako unutargodišnju, tako i na dugogodišnjoj vremenskoj skali, na kojoj se već zapažaju negativni učinci prisutnih klimatskih promjena za koje se očekuje da će se u budućnosti i intenzivirati (Radišić i Rubinić, 2017.). Osim toga, vode Krke su pod opterećenjem, pa i rizikom povećanja različitih pritisaka korisnika voda (hidroenergetika, vodoopskrba, pogonske potrebe, a u budućnosti i navodnjavanja). Prisutni su i pritisci na kakvoću voda, kao i morfološke promjene toka Krke koje su najizraženije upravo na prostoru sedrenih barijera. Kao kritični prostor konflikta, uvjetovanog smanjivanjem protoka preko sedrenih barijera kao posljedicom klimatskih prilika te poglavito i korištenjem voda za energetske potrebe (HE Jaruga) te dijelom i vodoopskrbu, odavno je prepoznat prostor Skradinskog buka. Radi se o najnižvodnijoj, najduljoj i turistički najatraktivnijoj sedrenoj barijeri na rijeci Krki.

No, na ekosustav rijeke Krke iznimno važan značaj ima i dionica toka Krke uzvodno od Visovačkog jezera koja je, ovisno o lokaciji, pod utjecajem rada čak četiriju hidroelektrana (HE Golubić na Krkinoj pritoci Butišnici, te na samoj Krki HE Miljacka, MHE Krčić i MHE Roški slap). Na tom se prostoru nalazi izvorište Miljacka kao i akumulacijsko jezero Brljan, volumena oko 400.000 m³ odakle se derivacijskim tunelom kapaciteta 24 m³/s te duljine oko 1,6 km, reduciraju protoci na dvostruko duljoj prirodnoj dionici rijeke Krke na kojoj su slapovi Brljan, Manojlovac, Rošnjak i Miljacka. Na vodni režim Krke na Roškom slapu utječe rad MHE Roški slap.

Osim ekosustava vezanih uz površinske vode Krke, predmet zaštite su i podzemne vode i njihovi ekosustavi, pri čemu upravo biološke zajednice organizama u podzemlju mogu dati doprinos saznanjima o komunikaciji površinskih i podzemnih voda analiziranog prostora. Ta je komunikacija posebno izražena na području izvorišta Miljacka gdje je bogato razvijen speleosustav više špilja koje su hidrološki aktivne (Marguš i drugi, 2013).

Upravljanje vodnim resursima koji djeluju u tako složenim sustavima traži da se dinamički prilagođava prisutnim uvjetima, kao i klimatskim promjenama. Jedan od načina za to je osiguranje ekološki prihvatljivog protoka na kritičnim dionicama toka Krke.

U radu su analizirani prisutni trendovi hoda karakterističnih protoka (maksimalni godišnji, srednji godišnji, minimalni srednji mjesečni i minimalni godišnji) te dane procjene karaktera pojava dvaju ekstremnih događaja zabilježenim tijekom posljednjih nekoliko godina - pojave vrlo velikog vodnoga vala iz svibnja 2023., kao i vrlo malih voda tijekom 2021. godine.

2. OPĆE ZNAČAJKE POJAVNOSTI VODA I SEDRENIH BARIJERA UNUTAR NP KRKA

Nacionalni park Krka, ukupne površine 109 km², 1985. godine dobio je status nacionalnog parka. Rijeka Krka započinje svoj tok u sjeveroistočnom dijelu Kninskog polja 3,5 km sjeveroistočno od Knina i do ušća u more svladava pad od 242 m kojim protječe preko sedam sedrenih barijera ukupne denivelacije blizu 200 m. Dužina njenog toka od izvora (ispod slapa Topoljskog buka Krkinog pritoka Krčića) do ušća je 72,5 km, od čega na slatkovodni dio toka do Skradinskog buka otpada oko 49 km, dok preostali dio čini dio toka pod neposrednim utjecajem mora. Unutar granica NP pruža se 46 km njenog slatkovodnog toka. Ukupna površina sliva je 2.450 km², a s hidrogeološkim posrednim slivom zauzima područje od ukupno oko 2.650 km².

Na svom najuzvodnijem dijelu rijeka Krka mirnim tokom protječe Kninskim poljem. Nizvodno od Knina ima kanjonski tip korita unutar kojeg se javlja jako krško izvorište Miljacka. Roškim slapom završava srednji tok Krke i započinje tok koji se odlikuje širim koritom i blažim spuštanjem kanjonskih strana. Krka se širi u Visovačko jezero te nastavlja svoj tok koji završava s ujezerenjem kojeg čine Krka i njezin najveći (oko 48 km) prtok Čikola, a kojeg je prouzročila barijera Skradinskog buka. Tu, na ušću Čikole u Krku, javlja se i krško izvorište Torak, Nakon Skradinskog buka Krka se ulijeva u Prokljansko jezero, koje na kraju prelazi u Šibenski zaljev s tjesnacem ispred ušća u more.

Unutar NP Krka nalazi se sedam sedrenih barijera / slapova: Bilušića buk (visine 22,4 m), Čorića buk ili Brljan (15,5 m), Manojlovački slapovi (niz slapova visine 59,6 m s glavnom stepenicom od 32 m), Rošnjak (8,4 m), Miljacka (23,8 m), Roški slap (25,5 m) te Skradinski buk (45,7 m). Skradinski buk je najnižvodnija i morfološki najrazvijenija barijera koja se sastoji se od 17 sedrenih stepenica raspoređenih duž 800 m dužine. Širina slapa je od 200 do 400 m, s ukupnom visinskom razlikom od 45,7 m (Friganović, 2007).

Proces formiranja i dinamike rasta sedrenih barijera uvjetovan je kako kemijskim tako i biološkim procesima. Sedra predstavlja vrlo jedinstvenu skupinu sedimentnih karbonatnih stijena koja pokazuje raznolike mineraloško-petrografske karakteristike i genezu, a glavna zajednička karakteristika im je da živi organizmi sudjeluju u njihovom formiranju što im daje i specifičnu morfologiju, odnosno da je biogena komponenta izuzetno bitna u precipitaciji kalcita. Pri tome osedranje se ne događa na području cijelog toka rijeke, već na točno određenim mjestima gdje za to postoje specifični uvjeti (Pevalek, 1953a; Srdoč i drugi, 1985; Srdoč, 1989; Pentecost, 2005). Mora biti prisutan i još jedan preduvjet koji se često izostavlja - prisutnost konstantnog protjecanja dovoljnih količina vode po omočenom obodu sedrotvornog profila. Stoga se može reći da je za odvijanje procesa osedranja nužna hidrodinamičko - biodinamička ravnoteža (Pevalek, 1953b). Usporedno s rastom sedrenih barijera, odvija se i njihova erozija, uvjetovana hidrodinamičkim djelovanjem protjecanja voda, djelovanjem leda kao i hidrostatskim nestabilnostima

uvjetovanim morfologijom samih barijera pod djelovanjem pritiska vode. Zbog erozije dolazi do smanjenja stabilnosti barijera, njihovog odlamanja ili čak urušavanja. Još jedna od negativnih posljedica je otvaranje kanala i špilja koje se nalaze u sklopu većih sedrenih cjelina, a njihovim otvaranjem može doći do naglog otjecanja vode (Pevalek, 1953b), čime se stvara kumulativni efekt negativnih utjecaja u obliku još manjih protoka vode preko određenih sedrenih barijera.

Proces stvaranja sedrenih barijera na rijeci Krki, te opis samih barijera, dali su Pevalek (1953a, 1953b), Pavletić (1960) te Matoničkin i Pavletić (1960). Osim prirodno uvjetovanih procesa rasta i trošenja slapova, u slivu Krke prisutni su i antropogene destrukcije slapova. Značajne degradacije barijera već su bilježene u prošlosti kao posljedica smanjenih protoka vode zbog uzvodnih hidroenergetskih i melioracijskih zahvata te zbog onečišćenja voda, koje je vrlo detaljno opisao i fotodokumentirao Pevalek (1953a; 1953b). Procese destrukcije slapova uvjetuje i sve učestalije presušivanje sedrenih barijera, a što je posljedica energetskog korištenja voda bez da se vodi računa o osiguranju primjerenog „biološkog minimuma“, odnosno ekološki prihvatljivog protoka (EPP).

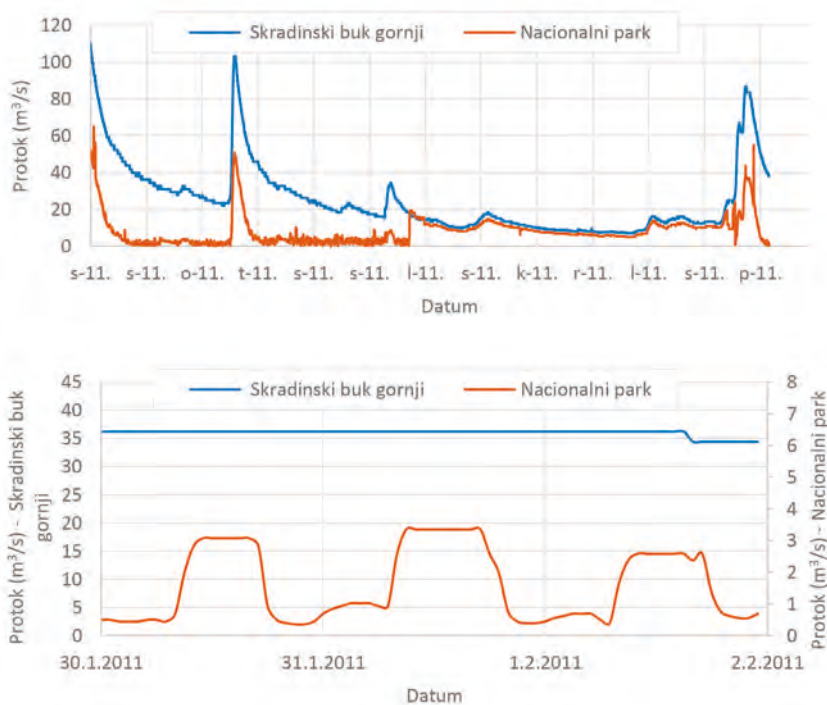
Metodologija procjene dinamike cjelokupnog rasta uključivo i usporednu eroziju sedrenih barijera temeljena na morfologiji i konsumpcijskim značajkama protjecajnog profila te usporednoj kvantifikaciji trendova hoda dvaju hidroloških parametara - hoda karakterističnih godišnjih vodostaja i protoka, razvijena je na primjeru barijera Plitvičkih jezera (Zwicker i Rubinić, 2005). Primjena na barijeru Skradinski buk na Krki pokazala je da je prosječni godišnji rast barijera u razdoblju 1952. - 1990. bio 0,15 cm/god., a u razdoblju 1991. - 2010. naglašeniji - 0,25 cm/god (Rubinić i drugi, 2017). No, osim rastu same barijere, isti se može pripisati i povećanju vegetacijskog obraštaja, posebice pajasena i bagrema (Milović, 2015; Gulin i drugi, 2021).

Usporedne vrijednosti karakterističnih pokazatelja protoka Krke na profilima njenog izvorišta (hidrološka postaja Topolje), srednjeg dijela toka na utoku u Visovačko jezero (Roški slap) te neposredno uzvodno od najnižvodnije barijere prije oduzimanja voda za pogon HE Jaruga i potrebe Šibenskog vodovoda (Skradinski buk Gornji) kao i na samom slapu nakon oduzimanja tih voda (Nacionalni Park) prikazane su u Tablici 1. U njoj je dan i prikaz tih vrijednosti dotoka u zajezereni dio Krke uzvodno od Skradinskog buka za profil hidrološke postaje Ključica na Čikoli za zajedničko razdoblje njihova rada 2010. - 2015. Radi orijentacijske usporedbe dani su i karakteristični protoci izvorišta Miljacka (cjelokupna izvorišna zona bez dotoka iz špilje Miljacka II) za 2019. koja je jedina s raspoloživim podacima monitoringa.

Tablica 1. Karakteristični protoci Krke i njenih glavnih dotoka unutar NP Krka (2010. - 2015.)

Hidrološka postaja	Protok (m ³ /s)			
	Srednji godišnji	Maksimalni	Minimalni	Najmanji srednji mjesečni
Topolje - Krka	10,4	57,6	2,89	3,37
Izvorište Miljacka*	5,63	10,8	1,75	2,02
Roški slap - Krka	32,1	202	7,31	8,4
Skradinski buk gornji - Krka	55,3	321	7,1	7,4
Nacionalni park - Krka	25,6	219	0,024	0,246
Ključice - Čikola	6,07	72,8	0	0
<i>* podaci se odnose na 2019.</i>				

Iz danog je prikaza vidljiva vrlo velika varijabilnost protoka duž toka Krke, kao i utjecaj korištenja voda na protjecanje preko Skradinskog buka, gdje su na postaji Nacionalni park tijekom analizirane 2011. zabilježeni minimalni mjesečni protoci koji su vrlo bliski presušivanju iz razloga što HE Jaruga ima velike unutardnevne oscilacije. Na slici 1a) je dan prikaz srednjih satnih protoka na postajama Skradinski buk gornji i Nacionalni park za cjelokupnu, iznimno sušnu 2011., a na slici 1b je prikazan izdvojeni detalj trodnevnog razdoblja (30. siječnja - 1. veljače 2011.). Iz njih je vidljivo da su u razdobljima kada je bila aktivna HE Jaruga razlike u ukupnim protocima Krke i protocima koji protječu preko Skradinskog buka varirale između 8,5 i 58,2 m³/s, a kada je HE Jaruga bila izvan pogona, razlika je bila oko 2 m³/s, što je reda veličine kapacitet derivacijskog kanala za pogonske svrhe te iznimno i za dopunu vodoopskrbnog sustava na izvoru Jaruga. Posebno kritična su razdoblja iznimno malih protoka Krke (10 - 15 m³/s pa i niže), kada je uslijed pogona HE Jaruga i korištenja voda na izvorištu Jaruga, preko slapova protjecalo ispod 1 m³/s vode, pa i puno niže. U takvim situacijama ne dolazi do okvašavanja cjelokupnog obraštaja sedrenih barijera kakvo priliči prirodnim sezonskim uvjetima, kao ni protjecanja voda s prikladnim brzinama, i one se ne održavaju u progresivnoj formi već dolazi do njihove degradacije. Takve situacije ne javljaju se samo na barijeri Skradinskog buka već i na uzvodnijim barijerama Brljana, Manojlovačkih slapova, Rošnjaka i slapa Miljacka koji su pod utjecajem rada HE Miljacka, kao i Roškog slapa koji je pod utjecajem MHE Roški slap. Pristutan je, iako u puno manjoj mjeri, i doprinos rada HE Butišnica koja se nalazi na istoimenoj pritoci Krke izvan prostora NP Krka, kao i doprinos oduzimanja dijela voda za potrebe vodoopskrbe.



Slika 1. Usporedni prikaz zabilježenih protoka na hidrološkim postajama Skradinski buk gornji i Nacionalni park: gore - za cjelokupnu 2011. godinu, dolje - izdvojeno za dane 30. siječnja - 1. veljače 2011.

Vezano uz vodnu problematiku, osim ekosustava ovisnih o površinskim vodama, predmet zaštite u NP Krka su i podzemni ekosustavi. Neposredan pristup tim ekosustavima je putem speleoloških objekata kojih unutar NP Krka za sada ima registriranih preko šezdesetak. No, prisutnost ekosustava podzemnih voda je i u nepristupačnim dijelovima krških vodonosnika unutar kojih se odvija transfer hranjiva i njihova komunikacija, kako unutar različitih dijelova podzemlja, tako i s površinskim vodama i samom površinom terena i uz nju organiznima.

3. KORIŠTENJE VODA NA UTJECAJNOM PROSTORU NP KRKA

Na području NP Krka i širem utjecajnom području nalazi se više većih korisnika voda koji zahvatima voda osiromašuju prirodni tok Krke ili njenih pritoka. Većinom se radi o hidroenergetskim objektima ili zahvatima vode za vodoopskrbu koji su izgrađeni prije samoga proglašenja nacionalnog parka. U tablici 2 dan je prikaz osnovnih značajki odobrenog vršnog korištenja voda, kao i propisanog ekološki prihvatljivog protoka (EPP) / biološkog minimuma. Iz njega je vidljivo da osim kod triju većih hidroelektrana u vlasništvu HEP-a (HE Jaruge, HE Miljacke i HE Golubić) nigdje nije propisana obveza osiguranja EPP - a, iako se radi o zahvatima voda u osjetljivim i zaštićenim područjima, kao i da je dijelu korisnika istekla vodopravna dozvola za korištenje voda iz izvorišta koje

koriste. Iz prikaza u Tablici 1 kao i na Slici 1a, odnosno usporedbom satnih protoka na postajama Skradinski buk gornji i Nacionalni park vidljivo je da se u situacijama malih voda dosljedno ne poštuju ni propisane granične vrijednosti EPP - a. Stoga je za zaštitu voda unutar NP Krka nužno osigurati i preispitivanje donesenih vrijednosti EPP - a u do sada izdanim vodopravnim dozvolama, utvrditi ih za zahvate kojima one nisu definirane, te osigurati mehanizam za njihovo striktno provođenje. Količine voda koje se za potrebe vodoopskrbe (kao tehnološke vode ili pak za potrebe navodnjavanja) koriste uzvodno od granica NP Krka (ukupno ispod 0,6 m³/s) nisu znatne i nemaju značajniji utjecaj na vode Krka unutar granica NP. Isto tako, ni energetska korištenje voda na MHE Krčić koja je protočna / bez mogućnosti regulacije protoka, kao ni HE Golubić s vrlo malom akumulacijom / kompenzacijskim bazenom za dnevno izravnane protoka volumena 187.000 m³, nemaju bitniji utjecaj na distribuciju protoka Krke unutar granice NP, osim što su prisutne manje unutar dnevne fluktuacije protoka na uzvodnijim dijelovima toka Krke - uzvodno od slapa / akumulacijskog jezera Brljan volumena 4 milijuna m³.

Tablica 2. Korištenje voda u slivu rijeke Krke na širem utjecajnom području NP Krka

Objekt	Korisnik	Rok važenja vodopravne dozvole	Odobreno vršno korištenje voda (m ³ /s)	Propisan EPP / Biol. min (m ³ /s)	Napomena
ENERGETSKO KORIŠTENJE VODA					
HE JARUGA	HEP	Istekla 2019.	30,0	13,0/ 6,0**	
HE MILJACKA		Do 2032.	30,0	1,5	
HE GOLUBIĆ*		Istekla 2019.	14,0	0,5	
MHE KRČIĆ*		Do 2041.	1,0	/	
MHE ROŠKI SLAP	Hydro - watt	Do 2028.	12,0	/	
VODOOPSKRBA					
Jaruga***	Vodovod i odvodnja Šibenik	Do 2032.	1,0	/	
Torak		Istekla 2016.	0,05	/	Ne koristi se
Miljacka		Istekla 2016.	0,14	/	
Izvor Čikole*	Rad Drmiš	Istekla 2018.	0,2	/	
Veliki točak*		Istekla 2018.	0,01	/	
Šimića vrelo*	K o m u n a l n o poduzeće Knin	Do 2029.	0,3	/	
TEHNOLOŠKO KORIŠTENJE VODA					
Crno vrelo*	HŽ CARGO d.o.o.	Istekla 2019.		/	Ne koristi se kao voda
Kosovčica*	Knauf d.o.o.	Istekla 2019.	0,009	/	
Orašnica*	DIV grupa d.o.o.	Do 2026.	0,02	/	
Bušotina IZ-2*		Do 2026.	0,0053	-	
NAVODNJAVANJE - postoji 10 - ak korisnika koji zahvaćaju iznimno male količine vode (red veličine 1 l/s)*					
POGONSKE SVRHE - nema vodopravne dozvole za prisutno korištenje voda iz izvora Miljacka za potrebe rashladnih voda turbina HE Miljacka kao ni pogonsku vodu rijeke Krke za pogon crpki na izvoru Jaruga					

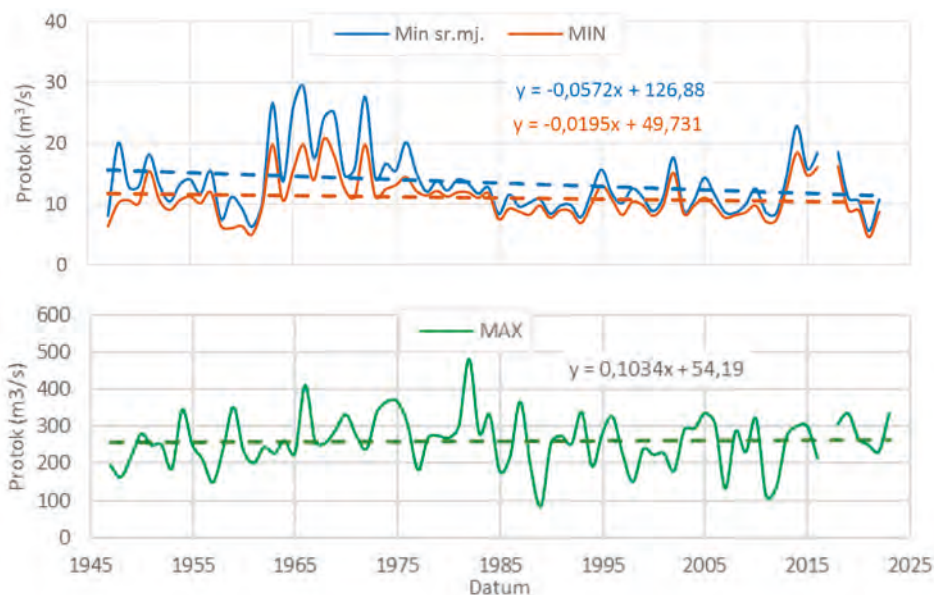
* Izvan granica NP

** U periodu od 1. lipnja do 30. rujna od 8 do 20 sati propisano 13,0 m³/s, u ostalim periodima 6,0 m³/s

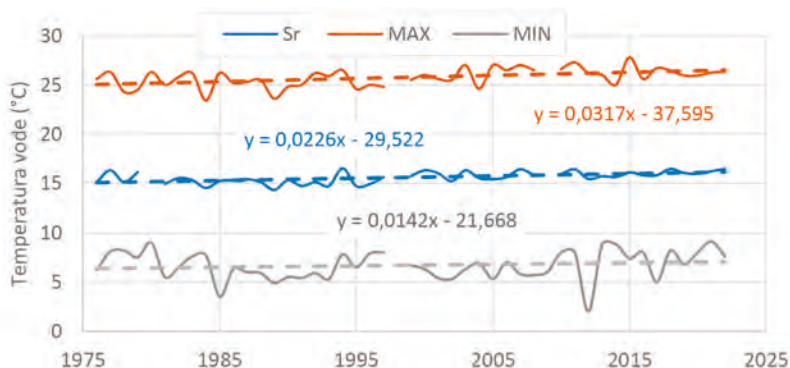
*** Zahvaćaju se izvorišne vode, a tek iznimno, u situacijama smanjene izdašnosti izvora, i površinske vode Krke u količini od oko 200 l/s

4. POJAVE EKSTREMNIH HIDROLOŠKIH PRILIKA

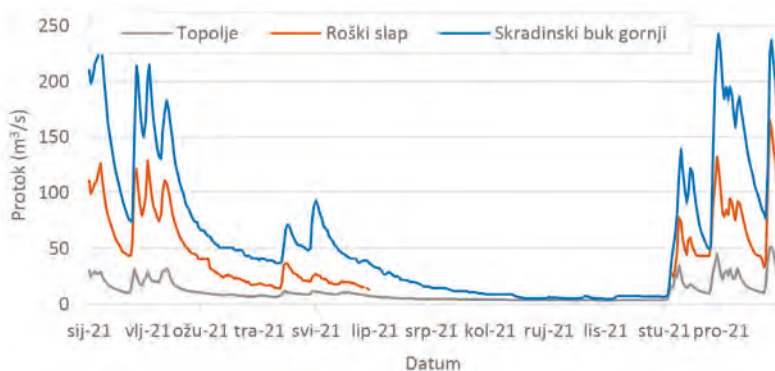
Na probleme pojava nepovoljnih trendova u slivu rijeke Krke ukazano je u radovima Rubinića i drugih (2015), u radu Bonaccija (2017) kao i Radišić i Rubinić (2017). Mogu se pripisati nepovoljnim posljedicama klimatskih varijacija / promjena, a dijelom i antropogenim pritiscima. Ukratko bi se mogli sintetizirati u iskazanim trendovima smanjenja malih voda (najmanjih srednjih mjesečnih protoka i apsolutnih godišnjih minimalnih protoka) (Slika 2), kao i u trendu povećanja srednjih godišnjih, kao i ekstremnih temperatura vode (Slika 3), a očekivati je da će se u budućnosti ti trendovi još dodatno intenzivirati, a time i negativni abiotički uvjeti po ekosustave ovisne o vodi. Kod analize trenda povećanja temperatura vode u samom jezeru, uočljivo da se kod njih očekuje daljnje značajno povećanje, jer tako rastu i antropogeni pritisci na okoliš. Tijekom posljednjih nekoliko godina zabilježena su dva ekstrema suprotnih predznaka - u 2021. godini iznimno dugotrajna i intenzivna suša (Slika 4) tijekom koje je nažalost došlo do zastoja registracije protoka na postaji Roški slap Krka, a sredinom svibnja 2023. i pojava iznimno velikih voda (Slika 5).



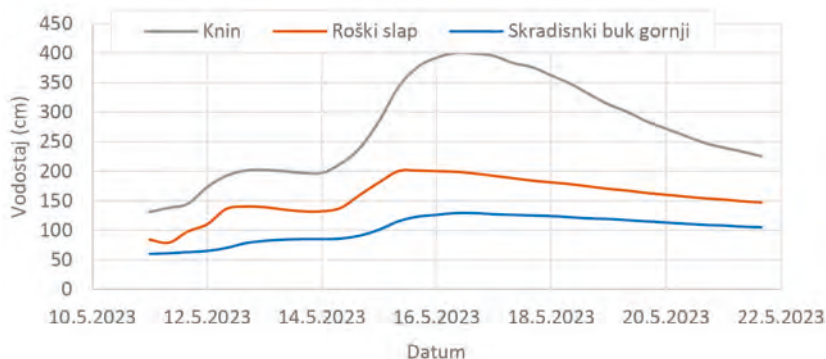
Slika 2. Hod karakterističnih godišnjih protoka: najmanjih srednjih mjesečnih protoka (gore) i maksimalnih godišnjih (dolje) na postaji Skradinski buk gornji na Krki



Slika 3. Hod karakterističnih godišnjih temperatura voda na postaji Skradinski buk gornji na Krki



Slika 4. Hod srednjih dnevnih protoka na postajama Topolje, Roški slap i Skradinski buk gornji na Krki tijekom 2021. godine



Slika 5. Hod satnih vodostaja na postajama Knin, Roški slap i Skradinski buk gornji na Krki (11. - 21. svibnja 2023.)

Provedenom analizom vjerojatnosti pojave maksimalnih dnevnih protoka, utvrđeno je da je dana 16. svibnja 2023. zabilježeni dnevni maksimum od oko 355 m³/s bio najveći protok koji se pojavio nakon 1987., te da je imao karakter 10 % - tne vjerojatnosti. Sušne hidrološke prilike zabilježene tijekom rujna 2021. predstavljale su u pogledu pojava najmanjih srednjih mjesečnih protoka, kao i godišnjih minimalnih protoka apsolutni ekstrem u odnosu na čitavo razdoblje monitoringa, započetog 1947. i imale su karakter reda veličine 2 % - tne vjerojatnosti. U budućnosti se očekuju i naglašenije pojave suše, pa tako i još ekstremniji protoci (Građevinski fakultet u Rijeci, 2016), a što onda ima utjecaj i na još veće promjene u temperaturama vode (Radišić i Rubinić, 2017).

Vidljivo je da se hidrološke prilike na temelju rezultata monitoringa kao i provedenih modeliranja mogu vrlo jasno i precizno izraziti pomoću brojčanih podataka i vjerojatnošću njihove pojave. No, vrlo je teško dobiti egzaktno podatke o tome kako i koliko ekstremne hidrološke prilike utječu na ekosustave. Svaki ekosustav funkcionira unutar određenog raspona biotičkih i abiotičkih čimbenika. Razdoblja u kojima je bilo koji od spomenutih čimbenika u svojim ekstremnim vrijednostima ujedno predstavljaju najizazovniji period za preživljavanje organizama. Pritom su najosjetljivije skupine organizama koje podnose male, povremene i kratkotrajne varijacije ekoloških čimbenika. Na području NP Krka hidrološki ekstremi utječu i na površinske i na podzemne ekosustave ovisne o vodama. Sedrotvorne zajednice ovisne su o osjetljivoj ravnoteži fizikalno - kemijskih i hidroloških parametara (Plenković - Moraj i drugi, 2002; Pevalek 1953a,b). Izloženost ekstremima, osobito kad se radi o duljim i češćim pojavama, može negativno utjecati na ove zajednice, pa tako i na biološku komponentu ravnoteže stvaranja i rastvaranja sedre. Osobito izazovno je ocjenjivati utjecaj hidroloških ekstrema na podzemne ekosustave ovisne o vodama. Speleološki objekti predstavljaju samo uski prozor u podzemni krški svijet. Podzemni ekosustav ovisan je o donosu hrane s površine i to prvenstveno putem ponirućih voda (Simon i drugi 2007), dok same podzemne vode predstavljaju stanište mnogih rijetkih i ugroženih vrsta (Ozimec i drugi, 2009). Podzemni organizmi evoluirali su upravo u uvjetima koji se smatraju ekstremnima (Culver i Pipan, 2009), te stoga dodatni hidrološki ekstremi predstavljaju dodatno opterećenje za ove delikatne ekosustave. Iz svega navedenog proistječe da problematici hidroloških ekstrema i njihovu utjecaju na živi svijet treba pristupiti s krajnjom ozbiljnošću i predanošću kako bi se očuvali ovi neprocjenjivi prirodni fenomeni.

ZAKLJUČCI

Rijeka Krka predstavlja iznimno značajan vodni resurs koji je zbog svoje vrijednosti zaštićen u kategoriji - Nacionalni park. No, zbog utjecaja klimatskih promjena / varijacija prisutni su negativni trendovi hoda protoka i temperatura vode, a na pojedinim lokacijama i antropogeni pritisci uvjetovani prevelikim korištenjem voda u nepovoljnim hidrološkim prilikama. To povećava rizike od neželjenih posljedica na ekosustave ovisne o vodi, kako površinske gdje su posebno ekosustavi vezani uz sedrene barijere, tako i u podzemlju. Postojeća korištenja voda nisu u dovoljnoj mjeri regulirana, a ni kontrolirana, te je stoga nužno preispitati i definirati potrebe osiguranja ekološki prihvatljivog protoka na način da se vodnim resursima na području NP Krka osigura opstojnost ekosustava ovisnih o vodi u uvjetima prisustva sve naglašenijih manifestacija klimatskih promjena.

LITERATURA

- [1] Bonacci, O., Andrić, I., Roje - Bonacci, T. (2017): *Hydrological analysis of skradinski Buk tufa waterfall (Krka River; dinaric karst, Croatia)*, Environmental Earth Sciences 76, <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7023-9>
- [2] Culver, D.C., Pipan, T. (2009): *The biology of caves and other subterranean habitats, The biology of habitats series*, Oxford University Press, New York
- [3] Friganović, M. (2007): *Geografske značajke i vrednote rijeke Krke*, Zbornik radova sa simpozija: NP Krka - stanje istraženosti i problemi zaštite ekosistema, Hrvatsko ekološko društvo, Zagreb
- [4] Građevinski fakultet u Rijeci (2016): *Hidrološka istraživanja voda rijeke Krke - Trendovi i utjecaji klimatskih promjena / varijacija*, Rijeka, Fond stručne dokumentacije
- [5] Gulin, V., Matoničkin Kepčija, R., Sertić Perić, M., Felja, I., Fajković, H., Križnjak, K. (2021): *Environmental and periphyton response to stream revitalization - a pilot study from a tufa barrier*, Ecological Indicators 126:107629, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107629>
- [6] Marguš, M., Bedek, J., Dražina, T., Gracin, J., Jalžić, B., Komerički, A., Lukić, M., Marguš, D., Miculinić, K., Mihelčić, G., Ozimec, R., Pavlek, M. (2013): *Speleološki vodič Nacionalnog parka Krka*. Nacionalni park Krka, Ministarstvo zaštite okoliša Republike Hrvatske, Šibenik
- [7] Matoničkin, I., Pavletić, Z. (1960): *Biološke karakteristike sedrenih slapova u našim krškim rijekama*, Geografski glasnik 22, 43-56
- [8] Milović, M. (2015): *A new contribution to the knowledge of the vascular flora of the Krka National Park (North Dalmatia, Croatia)*, Glasnik Hrvatskog botaničkog društva 4(1): 22-29
- [9] Ozimec, R., Bedek, J., Gottstein, S., Jalžić, B., Slapnik, R., Štamol, V., Bilandžija, H., Dražina, T., Kletečki, E., Komerički, A., Lukić, M., Pavlek, M. (2009): *Crvena knjiga špiljske faune Hrvatske = Red book of Croatian cave dwelling fauna*, Ministarstvo kulture: Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb
- [10] Pavletić, Z. (1960): *Sedreni slapovi rijeke Krke i njihov postanak*, Krš Jugoslavije, 71-98
- [11] Pentecost, A. (2005): *Travertine*, Springer Dordrecht, Berlin, 446
- [12] Pevalek I. (1953a): *Prikaz i stanje sedre na Krki*, Krka i problemi njezine zaštite: mišljenja, podaci i dokumenti, Zagreb, Konzervatorski zavod NR Hrvatske, Odjel za zaštitu prirodnih rijetkosti, 31-41
- [13] Pevalek I. (1953b): *Sedrotvorci, sedra i biodinamika*, Krka i problemi njezine zaštite: mišljenja, podaci i dokumenti, Zagreb, Konzervatorski zavod NR Hrvatske, Odjel za zaštitu prirodnih rijetkosti, 15-30
- [14] Plenković - Moraj, A., Horvatinčić, N., Primc - Habdija, B. (2002): *Periphyton and its role in tufa deposition at karstic waters (Plitvice Lakes, Croatia)*, Biologia 57, 423-431

- [15] Radišić, M., Rubinić, J. (2017): *Visovačko jezero na rijeci Krki - Utjecaji klimatskih promjena na promjene temperature vode*, Upravljanje jezerima i akumulacijama u Hrvatskoj - procesi, zaštita i valorizacija (Urednik - Rubinić, J.) Zagreb : Hrvatsko društvo za zaštitu voda, 241-245
- [16] Rubinić, J., Goreta, G., Giljušić, M., Marguš, D., Radišić, M., Zwicker Kompar, G., Kompar, D., (2015): *Hidrologija Krke - Utjecaji i promjene*, Knjiga sažetaka Znanstveno-stručnog skupa "Vizija i izazovi upravljanja zaštićenim područjima prirode u Republici Hrvatskoj: Aktivna zaštita i održivo upravljanje u nacionalnom parku Krka" (Urednik - Marguš, D.), Javna ustanova „Nacionalni park Krka“, Šibenik, 92-93.
- [17] Simon, K., Pipan, T., Culver, D. (2007): *A conceptual model of the flow and distribution of organic carbon in caves*, J Cave Karst Stud. 69, 279–284
- [18] Srdoč, D., Horvatinčić, N., Obelić, B., Krajcar, I., Sliepčević, A. (1985): *Procesi taloženja kalcita u krškim vodama s posebnim osvrtom na Plitvička jezera*, Krš Jugoslavije, Jugosl. akad. znan. umjet., 11/4-6, Zagreb, 101-204
- [19] Srdoč, D. (1989): *Taloženje sedre u krškim vodama*, Zbornik radova sa Simpozija NP Krka - stanje istraženosti i problemi zaštite ekosistema (Urednik - Kerovec, M.), Šibenik, 205-208
- [20] Zwicker, G., Rubinić, J. (2005): *Water Level Fluctuations as an Indicator of Tufa Barrier Growth Dynamics in the Plitvice Lakes*, RMZ - Materials and Geoenvironment, Vol. 52, No. 1, 161-163

AUTORI

mr. sc. Gordana Goreta ^a

Maja Radišić, mag. ing. aedif. ^b

Najla Baković, mag. oecol. ^c

dr. sc. Josip Rubinić, dipl. ing. građ. ^d

^a JU NP Krka, Trg Ivana Pavla II 5, Šibenik 22000, Hrvatska, Gordana.Goreta@npk.hr

^b MaLu, Pomerio 11, Rijeka, 51000, Hrvatska, maja8radisic@gmail.com

^c DVOKUT - ECRO, Laboratorij za floru, faunu i staništa, Trnjanska 37, Zagreb, 10000, Hrvatska, najla.bakovic@dvokut-ecro.hr

^d GEO - 5 d.o.o., Carera 59, Rovinj, 52210, Hrvatska, rubinic.josip@gmail.com



R 1.24.

DINAMIKA RAZINE PODZEMNE VODE U HIDROMORFNIM TLIMA SLIVA RIJEKE DRAVE

**Stjepan Husnjak, Mario Sraka, Danijela Jungić, Ivan Bertović,
Ivan Magdić, Nikolina Jurković Balog**

SAŽETAK: Osnovni cilj rada je ukazati na dinamiku razine podzemnih voda u tlu s hipoglejnim i amfiglejnim načinom vlaženja u slivu rijeke Drave, posebice u svjetlu recentnih klimatskih promjena. Analizirane su mjesečne i godišnje vrijednosti temeljnih klimatskih i hidroloških pokazatelja (oborina i temperature zraka, te razina podzemne vode) u hidrogeološkim piezometrima amfiglejnog tla kod Ferdinandovca tijekom razdoblja 1980. - 2021., te hipoglejnog tla kod Starog Gradaca tijekom razdoblja 1972. - 2021. Utvrđen je trend porasta oborina i temperature zraka tijekom razdoblja istraživanja, kao i trend smanjenja dubine podzemne vode u istraživanim tlima, u prosjeku od 1,1 - 1,3 cm godišnje. Veća kolebanja utvrđena su u piezometru s hipoglejnim tlom koji se nalazi bliže rijeci Dravi. Primarni učinci globalnog zatopljenja na dvije istraživane lokacije u dijelu sliva rijeke Drave jesu i promjene u dinamici razine podzemne vode u hidromorfnim tlima, gdje je ona posebice u zadnjem 20 - godišnjem razdoblju rijetko unutar 1,0 m dubine kod hipoglejnog tla, dok je kod amfiglejnog tla i dalje često unutar 1,0 m dubine. Takvo stanje kod dijela hidromorfnih tala na području sliva rijeke Drave dovodi u pitanje njihovu sistematsku pripadnost.

KLJUČNE RIJEČI: Podzemne vode, Tlo, Hipoglej, Amfiglej, Klimatske promjene

GROUNDWATER LEVEL DYNAMICS IN HYDROMORPHIC SOILS OF THE DRAVA RIVER BASIN

ABSTRACT: The main purpose of the paper is to present the dynamics of the groundwater levels in the soil with hypogley and amphigley wetting in the Drava river basin, primarily in view of recent climate change. The monthly and annual values of basic climate and hydrological indicators (precipitation and air temperature, and groundwater level, respectively) were analysed in hydrogeological piezometers of amphigley soil near Ferdinandovac in the 1980 - 2021 period, and hypogley soil near Stari Gradac in the 1972 - 2021 period. A trend of increasing precipitation and air temperature during the research period was determined, as well as a trend of reduced groundwater depth in the investigated soils on average 1,1 - 1,3 cm/year. Larger fluctuations were determined in the piezometer in hypogley soil, which is located closer to the Drava River. The primary effects of climate

warming at the two investigated locations in the Drava river basin are also changes in the dynamics of groundwater levels in hydromorphic soils, where, especially in the last 20 - year period, it is rarely within 1 meter depth in hypogley soil, whereas in amphigley soil and further, it is frequently within 1.0 m depth. Such state of part of hydromorphic soils in the Drava river basin area calls into question their systematic affiliation.

KEYWORDS: Groundwater, Hypogley, Amphigley, Climate change

1. UVOD

Posljednjih desetljeća svjedoci smo sve izraženijih klimatskih promjena koje se posebno manifestiraju na promjene režima oborina i temperature zraka (EC, 2019.). Procjenjuje se da pored ljudske aktivnosti (primjerice izgradnja hidrocentrala na rijeci Dravi, izgradnja nasipa, korištenje podzemnih voda za navodnjavanje, izgradnja prometnica, i dr.), i navedene klimatske promjene uzrokuju promjene režima podzemnih voda, posebno kod hidromorfih tala. Takve procjene potvrđuju primjerice Panda i sur. (2012.), koji su utvrdili da je glavni razlog opadanju razine podzemnih voda učestalost pojave sušnih razdoblja, a što povezuju s porastom temperature zraka. U Hrvatskoj su na području sliva Drave u velikoj mjeri zastupljena hidromorfna tla, odnosno tla koja bi trebala imati barem povremeno podzemnu vodu unutar 1,0 m dubine tla (Husnjak, 2014.). S obzirom na moguće promjene razina podzemnih voda, s pravom se postavlja pitanje dali i koliko te promijene danas utječu na vodni režim tla, odnosno na definiranje njihove sistematske pripadnosti i procjenu pogodnosti za poljoprivredu. Osnovni cilj ovog rada je ukazati na dinamiku razine podzemnih voda u hipoglejnom i amfiglejnom tlu u slivu rijeke Drave, posebno u svjetlu aktualnih klimatskih promjena.

2. MATERIJALI I METODE RADA

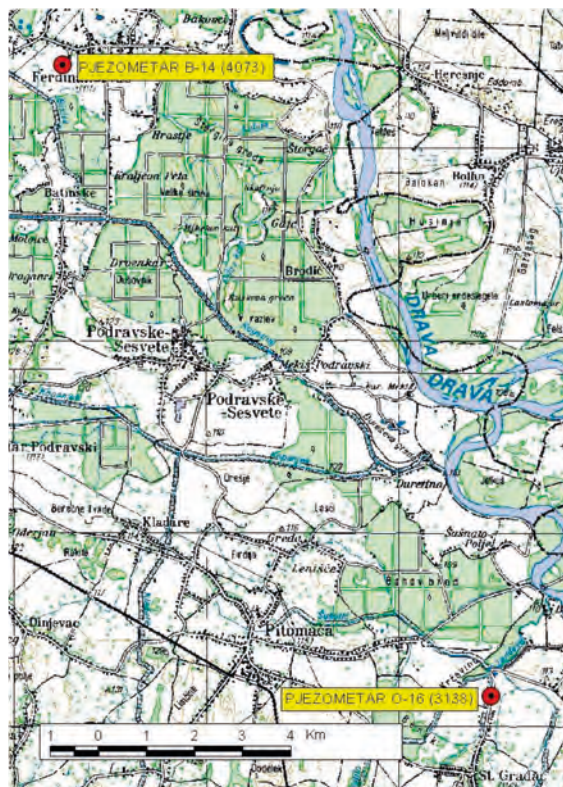
Istraživanja su provedena na širem području naselja Ferdinandovac i Stari Gradac, slika 1. Podaci o razinama podzemnih voda dobiveni su od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a), za dva piezometra:

- piezometar B-14 (4073) na koti terena od 110,22 m kod naselja Ferdinandovac, udaljen 5,6 km od Drave, za razdoblje 1980. - 2021.
- piezometar O-16 (3138) na koti terena od 107,72 m kod naselja Stari Gradac, udaljen 2,5 km od Drave, za razdoblje 1972. - 2021.

Osnovne značajke tla utvrđene su standardnim terenskim i laboratorijskim istraživanjem tla do 2,0 m dubine uz same piezometre, a provedena su u travnju 2023. godine.

Osnovne značajke klime prikazane su na temelju dostupnih podataka o mjesečnim i godišnjim oborinama i temperaturama zraka za meteorološke postaje Đurđevac za piezometar B-14 (razdoblje 1980. - 2020.) i Virovitica za piezometar O-16 (razdoblje 1972. - 2020.).

Statistička obrada klimatskih podataka učinjena je provedbom t-test-a korištenjem kompjuterskog programa Microsoft Office Excel 2016.



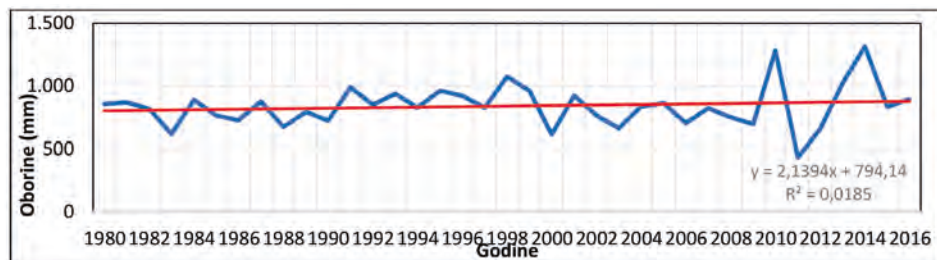
Slika 1. Položaj istraživanih piezometara na karti

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

3.1. Osnovne značajke klime

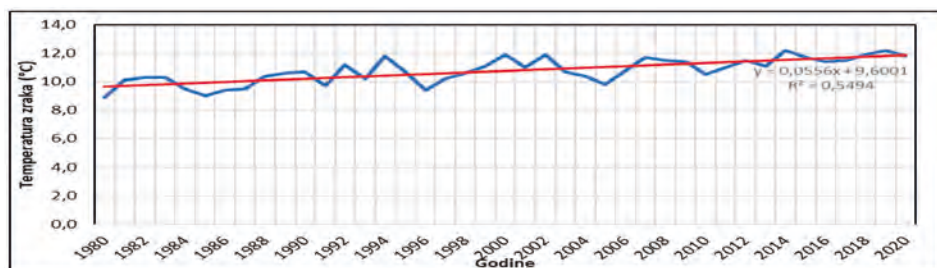
U nastavku su prikazani trendovi kretanja godišnjih količina oborina i srednje godišnje temperature zraka za višegodišnje razdoblje istraživanja na meteorološkim postajama Đurđevac (Ferdinandovac) i Virovitica (Stari Gradac). Na lokaciji Ferdinandovac (piezometar B-14), višegodišnji prosjek oborina (1980. - 2020.) iznosio je 829,3 mm. U posljednjem su desetljeću primjetne veće oscilacije u količini oborina, pa su tako najmanje količine oborina zabilježene 2011. godine (430,3 mm), a najviše 2014. godine (čak 1.310,9 mm). Navedene količine svakako su utjecale i na blagi trend porasta godišnjih količina oborina, graf 1.

Graf 1. Trend kretanja godišnjih količina oborina na meteorološkoj postaji Đurđevac u razdoblju 1980. - 2020.



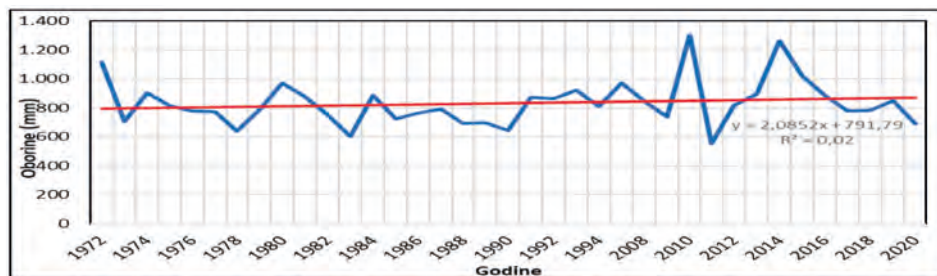
S obzirom na vrijednosti višegodišnje srednje temperature zraka (10,8 °C), također je u promatranom razdoblju utvrđen trend njezinog povećanja. To posebno dolazi do izražaja u razdoblju 2011. - 2020., kada je prosječna godišnja temperatura zraka iznosila 11,6 °C, što je više i od prosjeka i za razdoblje 1980. - 2010., koji iznosi 10,5 °C, graf 2.

Graf 2. Trend kretanja srednje godišnje temperature zraka na meteorološkoj postaji Đurđevac u razdoblju 1980. - 2020.



Na lokaciji Stari Gradac (piezometar O-16), tijekom 48 - godišnjeg razdoblja, prosječno je zabilježeno 834,1 mm oborina, uz također prisutan trend povećanja godišnjih količina. Međutim, na trend povećanja oborina utjecale su i izrazito kišne 2010. godina sa 1.302,8 mm te 2015. godina sa 1.261,9 mm. Najmanje oborina (552,2 mm) palo je 2011. godine, graf 3.

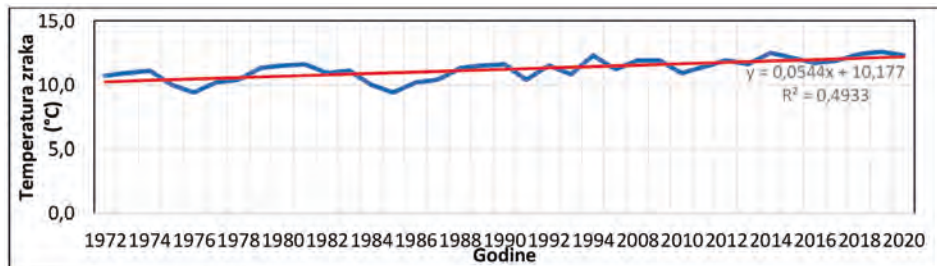
Graf 3. Trend kretanja godišnjih količina oborina na meteorološkoj postaji Virovitica u razdoblju 1972. - 2020.



Višegodišnja srednja temperatura zraka iznosila je 11,2 °C, te je također zabilježen njen uzlazni trend. Porast srednje godišnje temperature zraka vidljiv je i ovdje, posebno u

posljednjem desetljeću (2011. - 2020.) kad je ona iznosila 12,0 °C, u odnosu na razdoblje 1972. - 2010., kad je iznosila 10,9 °C, graf 4.

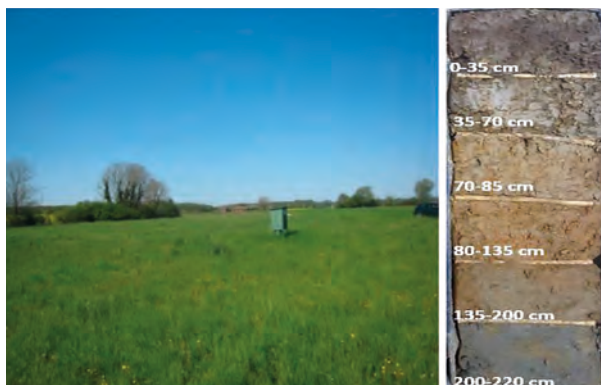
Graf 4. *Trend kretanja srednje godišnje temperature zraka na meteorološkoj postaji Virovitica u razdoblju 1972. - 2020.*



3.2. Osnovne značajke tla

Značajke tla kod piezometra B-14 (4073)

Piezometar se nalazi uz samo naselje Ferdinandovac, a udaljen je oko 5,6 km od rijeke Drave. Smješten je na širem području s hidromorfnim tlima. Okolno poljoprivredno zemljište najvećim se dijelom koristi kao livade košenice a manjim dijelom za uzgoj ratarskih kultura (Slika 2).



Slika 2. *Krajobraz sa slikom mikromonolita pedološke sonde piezometra B-14*

Matični supstrat čine fluvijalni nanosi, teren je ravan a dreniranost nepotpuna. Ono što obilježava ovo tlo je amfiglejni način vlaženja, a čini ga kombinacija hipoglejnog (vlaženje visokom podzemnom vodom koja povremeno dopire i u zonu površinskog horizonta) i epiglejnog (vlaženje stagnirajućom oborinskom vodom u gornjem dijelu pedološkog profila, a koja se zbog slabije vodopropusnosti javlja za vrijeme većih količina oborina) načina vlaženja. Tlo je nekarbonatno, tekstura tla je dominantno praškasto glinasto ilovasta u gornjem a praškasto ilovasta u donjem dijelu profila, reakcija tla je slabo kisela do neutralna, a sadržaj humusa unutar granica jako humoznih tala (Tablica 1.). Prema klasifikaciji tala Hrvatske (Husnjak, 2014.) pedosistematska jedinica je amfiglej nekarbonatni, mineralni.

Značajke tla kod piezometra O-16

Piezometar se nalazi pored naselja Stari Gradac, a udaljen je oko 2,5 km od rijeke Drave. Smješten je također na širem području s hidromorfnim tlima. Okolno poljoprivredno zemljište najvećim se dijelom koristi za uzgoj ratarskih kultura (Slika 3.).

Tablica 1. Osnovne značajke tla kod piezometra B-14

Dubina cm	Oznaka hori- zonta	Sadržaj mehaničkih čestica (%) u Na-pirofosfatu			Tekstura *	Reakcija tla (pH) u		Sadržaj humusa %	Sadržaj CaCO ₃ %
		Pijesak 2 - 0,06 mm	Prah 0,02 - 0,002 mm	Glina < 0,002 mm		vodi	KCl		
0 - 35	A	3,5	67,8	28,7	PrGI	6,22	5,19	6,75	-
35 - 70	Gr/Gso	5,4	61,0	33,6	PrGI	7,86	6,84		3,5
70 - 85	Gso	12,3	68,9	18,8	PrI	8,00	7,09		7,9
85 - 135	Gso/Gr	17,3	72,6	10,1	PrI	7,93	7,23		8,5
135 - 200	Gr/Gso	43,5	50,5	6,0	PrI	8,22	7,29		9,0
>	Gr				PI**				

* Tumač kratica: PI - pjeskovita ilovača; PrI - praškasta ilovača; PrGI - praškasto glinasta ilovača

** utvrđeno terenskim istraživanjem

Matični supstrat čine fluvijalni nanosi, teren je ravan, dreniranost terena je dobra. Način vlaženja ovog tla je hipoglejni, a obilježava ga vlaženje visokom podzemnom vodom koja prema morfološkim znakovima dopire često i u rizosfernu zonu pedološkog profila. Tlo je dominantno praškasto ilovaste teksture, nekarbonatno, slabo kisele do kisele reakcije i osrednje humozno (Tablica 2). Prema klasifikaciji tala Hrvatske pedosistematska jedinica je hipoglej nekarbonatni, mineralani, duboko glejni.



Slika 3. Krajobraz sa slikom mikromonolita pedološke sonde piezometra O-16

Tablica 2. Osnovne značajke tla kod piezometra O-16

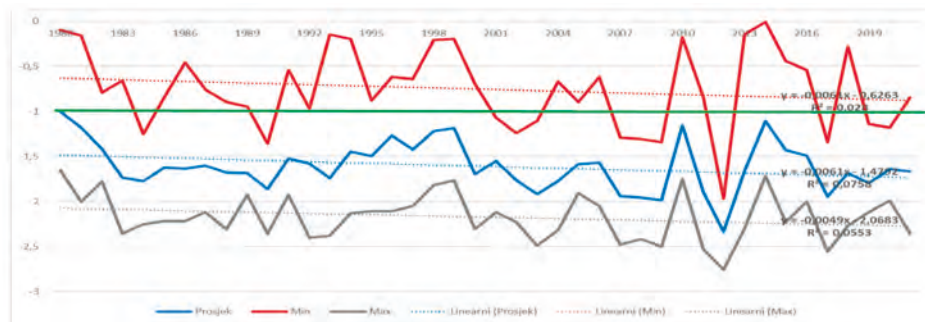
Dubina cm	Oznaka hori- zonta	Sadržaj mehaničkih čestica (%) u Na-pirofosfatu			Tekstura *	Reakcija tla (pH) u		Sadržaj humusa %	Sadržaj CaCO ₃ %
		Pijesak 2 - 0,06 mm	Prah 0,02 - 0,002 mm	Glina < 0,002 mm		vodi	KCl		
0 - 40	Ap	23,0	62,5	14,5	PrI	6,47	5,52	3,39	-
40 - 60	Gso	18,2	60,0	21,8	PrI	6,60	5,07		0,7
60 - 95	Gso	17,0	63,9	19,1	PrI	6,83	5,19		0,8
95 - 160	Gr/Gso	49,8	45,1	5,1	PI	7,05	5,24		0,8
160 - 200	Gr	46,6	50,3	3,1	PrI	8,19	7,31		5,7

* Tumač kratica: PI - pjeskovita ilovača; PrI - praškasta ilovača

3.3. Dinamika razine podzemnih voda na piezometru B14 (4073) - Ferdinandovac

Dinamika razine podzemne vode na lokaciji Ferdinandovac (piezometar B-14) ukazuje da postoji trend smanjenja njene dubine u razdoblju 1980. - 2021. godina, i to kako prosječnih vrijednosti, tako i minimalnih i maksimalnih vrijednosti (Graf 5.). U prvom razdoblju 1980. - 1999. godina prosječna dubina podzemne vode iznosila je 1,47 metara, s kolebanjima maksimalnih vrijednosti između 1,65 i 2,38 metara, a minimalnih vrijednosti od 0,10 do 1,36 metara. Samo u dvije godine (1984. i 1990.) nisu utvrđene njihove vrijednosti unutar 1 metar dubine (zelena linija na grafu), dok je čak u 60 mjeseci podzemna voda bila pliće od 1 metra dubine. U drugom razdoblju istraživanja (2000. - 2021. godina) prosječno je voda u tlu bila na 1,70 metara dubine (23 centimetara dublje u odnosu na prvo razdoblje), maksimalne godišnje vrijednosti varirale su između 1,72 i 2,56 metara, a minimalne od 0,01 do 1,97 metara. Za ovo je razdoblje utvrđeno da čak tijekom 10 godina nisu uopće utvrđene podzemne vode unutar 1 metar dubine, dok je samo tijekom 34 mjeseca podzemna voda bila unutar 1 metra dubine tla.

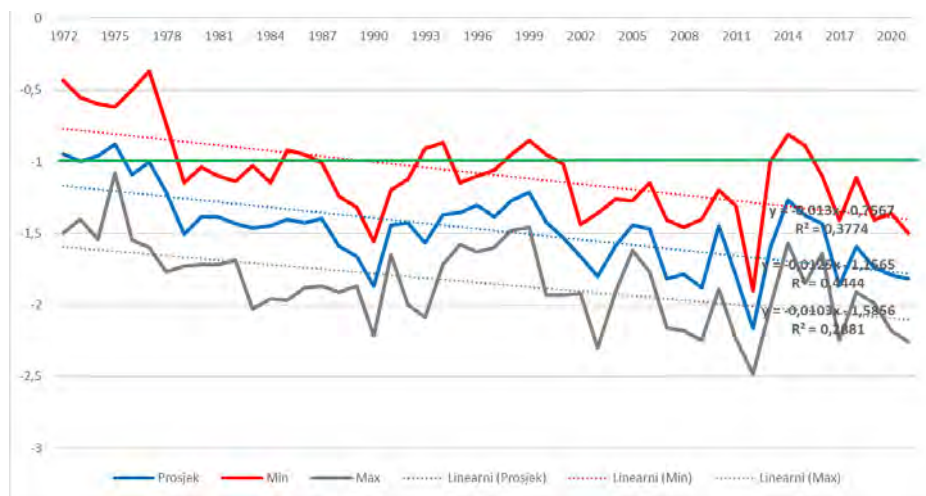
Graf 5. Dinamika razina podzemnih voda piezometra B-14, razdoblje 1980. - 2021. godina



3.4. Dinamika razine podzemnih voda na piezometru O16 (3138) - Stari Gradac

Dinamika razine podzemne vode na lokaciji Stari Gradac (piezometar O-16) također ukazuje na trend smanjenja njene dubine tijekom istraživanog razdoblja (Graf 6.). U prvom desetogodišnjem razdoblju, od 1971. - 1979. godine, prosječna dubina podzemne vode iznosila je 1,12 metara, maksimalne godišnje vrijednosti varirale su između 1,08 i 1,77 metara, minimalne od 0,37 do 1,15 metara i samo u jednoj godini (1979.) nije utvrđena podzemna voda unutar 1 metar dubine tla (zeleno linija na grafu). Ukupno je utvrđeno da unutar 57 mjeseci podzemna voda bila pliće od 1 metra dubine. U drugom razdoblju istraživanja (1980. - 1999. godina) prosječna dubina podzemne vode je iznosila 1,44 metra (32 centimetara dublje u odnosu na prvo razdoblje), maksimalne godišnje vrijednosti varirale su između 1,65 i 2,09 metara, minimalne od 0,85 do 1,56 metara i rijetko su ulazile unutar 1 metar dubine (ukupno samo tijekom 10 mjeseci). U čak 14 godina uopće nije utvrđena podzemna voda unutar 1 metra dubine tla. U trećem razdoblju istraživanja (2000. - 2021. godina) prosječno je voda u tlu bila na 1,65 centimetara dubine (21 centimetar dublje od prethodnog razdoblja), maksimalne godišnje vrijednosti varirale su između 1,57 i 2,48 metara, minimalne od 0,81 do 1,90 metara i vrlo su rijetko, tek iznimno, utvrđene podzemne vode unutar 1 metar dubine (samo u 6 mjeseci). Čak u 19 godina podzemna voda nije nikada bila plića od 1 metra dubine.

Graf 6. Dinamika razina podzemnih voda piezometra O-16, razdoblje 1972.-2021. godina



3.5. Rasprava

Premda postoji trend blagog porasta godišnjih količina oborina na obje lokacije istraživanja, statistička obrada ukazuje da taj porast nije značajan. Sličan trend porasta oborina utvrđuju i drugi autori u svojim istraživanjima (Dolanjski i sur., 1999.; Mustać i sur., 2023.). Međutim, koeficijenti varijacije ukazuju da su najveće oscilacije godišnjih oborina utvrđene u razdoblju 2000. - 2020., kada su zabilježene i apsolutno najniže (2011.

godina) i apsolutno najviše (2014. godina) godišnje količine oborina tijekom čitavog razdoblja istraživanja na obje lokacije.

S druge strane, može se reći sa 99 % - tnom sigurnošću da su prosječne godišnje temperatura u razdoblju 2000. - 2020. značajno veće u odnosu na razdoblje prije 2000.-te godine. Tako su na primjer na postaji Đurđevac tijekom posljednjeg dvadesetogodišnjeg razdoblja samo jednom (2005. godine) godišnje temperature bile manje od višegodišnjeg prosjeka i iznosile su 9,8 °C, dok je na postaji Virovitica svaka godina unutar posljednjih 20 bila toplija od višegodišnjeg prosjeka koji za to područje iznosi 10,9 °C. Utvrđena povećanja godišnjih temperatura zraka iznosila su od 0,4 °C do čak 1,7 °C.

Na oba piezometra utvrđen je trend sniženja razina podzemnih voda tijekom istraživanja: na lokaciji Ferdinandovac u prosjeku 1,1 cm godišnje, a na lokaciji Stari Gradac 1,3 cm godišnje. Trend sniženja razina podzemnih voda je različit na istraživanim piezometrima, a znatno je brži na piezometru O-16 koji je bliže rijeci Dravi. Sniženja razina podzemni voda na području Hrvatske utvrdili su i drugi autori: Vujević i Posavec (2018.) u akviferima Save na području Zagreba i Samobora - Zaprešića od 60 - tih godina prošlog stoljeća do 2015. godine i to za 3 - 6 m. te Vrbeč i sur. (2006.) u šumskim staništima Podravine od 1996. do 2005. godine.

Na lokaciji Ferdinandovac (piezometar B-14) apsolutna minimalna dubina podzemne vode utvrđena je 2014. godine i iznosila je samo jedan centimetar od površine tla, a što je posljedica i najvećih količina oborina palih na tome području (1.310,9 mm). Apsolutne maksimalne dubine podzemne vode (2,76 m) utvrđene su 2012. godine kada je palo samo 655,9 mm oborina. Na ovoj lokaciji vrlo plitke podzemne vode (dubine do 25 cm) u razdoblju 1980. - 1999. utvrđene su tijekom 6 godina, unutar jedan metar podzemne se vode javljaju tijekom 18 godina, a dublje od 1 metra samo tijekom 2 godine istraživanja. S druge strane, u razdoblju 2000. - 2021. vrlo plitke podzemne vode utvrđene su tijekom 3 godine, unutar jedan metar tijekom 12 godina, dok su podzemne vode dublje od 1 metra utvrđene čak tijekom 10 godina.

Na lokaciji Stari Gradac (piezometar O-16) apsolutna minimalna dubina podzemne vode utvrđena je 1977. godine i iznosila je 37 centimetara od površine tla. Apsolutne maksimalne dubine podzemne vode (2,48 m) utvrđene su 2012. godine kada je palo 816,5 mm oborina. Vrlo plitke podzemne vode (dubine do 25 cm) u razdoblju 1972. - 1979. uopće nisu utvrđene, dok su vode dublje od 1 metra utvrđene samo tijekom 1 godine. U razdoblju 1980. - 1999. podzemna voda uopće nije utvrđena unutar 75 cm dubine, a tijekom 14 godina je bila ispod 1 metar dubine. Sličan trend je utvrđen i u razdoblju 2000. - 2021. godina kada podzemne vode nije bilo unutar 75 cm dubine, dok je čak tijekom 19 godina bila ispod 1 metar dubine.

Uvažavajući dinamiku razine podzemne vode na području piezometra B-14 kod Ferdinandovca, može se ustvrditi da kod ovoga tipa tla nije došlo do promijene sistematske pripadnosti obzirom da je još uvijek prisutan kako epiglejni, tako i hipoglejni način vlaženja. Međutim na području piezometra O-16 kod Starog Gradaca, može se ustvrditi da je došlo do drastične promijene sistematske pripadnosti tla s obzirom da se podzemna voda unutar 1 m dubine tla nakon 1978. godine javlja rijetko, a najčešće dopire do eventualno 0,75 m dubine. S obzirom na navedeno, na području ovog piezometra dominantno je prisutan semiglejni način vlaženja.

ZAKLJUČAK

Temeljem provedenih hidroloških i hidropedoloških istraživanja o mogućem utjecaju klimatskih promjena na razinu podzemnih voda u hidromorfnim tlima doline rijeke Drave u razdoblju prije i nakon 2000. godine možemo zaključiti sljedeće:

- utvrđen je trend blagog porasta oborina, ali utvrđene razlike nisu statistički značajne;
- posljednje 20 godišnje razdoblje je značajnije toplije od razdoblja prije 2000.-te godine;
- utvrđen je trend prostornog i vremenskog snižavanja razine podzemnih voda koji u prosjeku iznosi od 1,1 do 1,3 cm godišnje ovisno o načinu vlaženja tla i udaljenosti od rijeke Drave;
- s obzirom na utvrđeni trend rasta količine oborina, procjenjuje se da klimatske promjene nisu jedini uzrok pada razina podzemnih voda;
- obzirom da se posljednjih 20 godina podzemna voda sve rjeđe nalazi unutar 1 metar dubine tla u pitanje dolazi i sistematska pripadnosti dijela hidromorfni tala ovoga područja.

LITERATURA

- [1] Dolanjski, D., Petošić, D., Stričević, I. (1999). *Dinamika podzemnih voda na dijelu Srednje Posavine*, Poljoprivredna znanstvena smotra, 64(1), 49-58.
- [2] European Commission (2019). Climate change. Dostupno na https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_hr (Preuzeto: 28.4.2023.).
- [3] Husnjak, S. (2014). *Sistematika tala Hrvatske*, Sveučilišni udžbenik, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, 373.
- [4] Mustać, I., Kutleša, D., Filipović, V., Filipović, L., Krevh, V., Defterdarović, J., Petošić, D. (2022). *Značajke dinamike podzemnih voda na području Biđ-bosutskog polja*. Zbornik radova s 58. hrvatskog i 18. međunarodnog simpozija agronoma (Urednici: Carević Stanko, K., Širić, I.), Novi Val d.o.o., Zagreb, 42-48.
- [5] Panda, D.K., Mishra, A., Kumar, A. (2012). *Quantification of trend sin groundwater levels of Gujarat in western India*, Hydrological sciences journal, 57(7), 1.325-1.336.
- [6] Vrbek, B., Pilaš, I., Potočić, N., Seletković, I. (2006). *Istraživanja razina podzemnih voda, unosa teških metala i oštećenosti krošanja u šumskim ekosustavima Hrvatske*, Radovi (iz.br.9), 159-180. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/26023> (Preuzeto: 28.04.2023.), 159-180.
- [7] Vujević, M., Posavec, K. (2018). *Identification of Groundwater Level Decline in the Zagreb and Samobor - Zaprešić Aquifers since the Sixties of the Twentieth Century*. The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin, 33(4), 55-64. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/file/302353> (Preuzeto: 28.04.2023.)

AUTORI

prof. dr. sc. Stjepan Husnjak ^a

prof. dr. sc. Mario Sraka ^a

doc. dr. sc. Danijela Jungić ^a

Ivan Bertović ^b, dipl. ing.

dr. sc. Ivan Magdić ^a

Nikolina Jurković Balog, dipl. ing. ^a

^a Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Hrvatska, shusnjak@agr.hr

^b Državni hidrometeorološki zavod, Ravnice 48, 10000 Zagreb, Hrvatska, bertovic@cirus.dhz.hr



R 1.25.

HIDROLOŠKA I HIDROKEMIJSKA ISTRAŽIVANJA IZVORA NA MEDVEDNICI - PRIMJER PONIKAVA

Ivan Martinić, Ivan Čanjevac

SAŽETAK: Do sad je terenskim istraživanjem na području prisojne strane Medvednice kartirano i analizirano više od 600 izvora. Na krškom prostoru Ponikava na zapadnom dijelu Medvednice kartirano je 39 izvora. Na poriječju potoka Jezeranec kartirana su 22 izvora, a na poriječju potoka Javorščak 15 izvora. Unatoč relativno velikoj gustoći izvora (32,5 izvora/km²), njihov prostorni raspored je neujednačen, a najviše je uvjetovan (hidro)geološkim uvjetima. Na izvorima su u trenutku kartiranja provedena mjerenja izdašnosti, kao i osnovna fizikalno - kemijska obilježja. Na temelju volumetrijskih mjerenja izdašnosti i procjene hidroloških uvjeta, određena je klasa izvora. Prosječna izdašnost izvora je između 0,01 l/s i 1 l/s. Izmjerene vrijednosti električne provodnosti na izvorima kreću se od 300 μ S/cm do 723 μ S/cm. Izmjerene vrijednosti pH izvorske vode kreću se od 6,1 do 8,1, a temperature vode od 5,3 °C do 12 °C.

Od ožujka 2022. godine na Jambrišakovom vrelu provodi se praćenje navedenih obilježja. Jambrišakovo vrelo pokazalo je relativno veliku varijabilnost izdašnosti i električne provodnosti. Maksimalna zabilježena vrijednost protoka u promatranom razdoblju veća je od 12 l/s, a najmanja izmjerena vrijednost je 0.07 l/s. Najviša vrijednost električne provodnosti iznosila je 651 μ S/cm, te je izmjerena za niskih voda, a sukladno tome, najniža 315 μ S/cm izmjerena je za visokih protoka.

KLJUČNE RIJEČI: Izvori, Park prirode Medvednica, Ponikve, Izdašnost, Fizikalno - kemijska obilježja vode

HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL RESEARCH OF SPRINGS ON MT. MEDVEDNICA - PONIKVE AREA

ABSTRACT: To date, more than 600 springs have been mapped and analyzed based on field research in the area of Mt. Medvednica. 39 springs were mapped in the karst area of Ponikve located in the western part of Mt. Medvednica. 22 springs were mapped in the Jezeranec stream basin and 15 springs in the Javorščak stream basin. Despite a relatively high density of springs (32,5 springs/km²), their spatial distribution is uneven, which is mostly due to (hydro)geological conditions. At the time of mapping, yield measurements were performed and basic physico - chemical characteristics assessed at the springs. Based on the volumetric measurements of the yield and assessment of the hydrological

conditions, the spring yield classes were determined. The average yield of the investigated springs is between 0,01 l/s and 1 l/s. The measured values of electrical conductivity at the springs range from 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ to 723 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The measured pH values of the spring water range from 6,1 to 8,1, while the water temperature equaled from 5,3 °C to 12 °C.

From March 2022, the monitoring of the stated characteristics has been carried out at the Jambrišakovo vrelo spring, which showed a relatively high variability of yield and electrical conductivity. The maximum recorded yield value in the observed period was higher than 12 l/s, while the lowest measured value equalled 0.07 l/s. The highest recorded value of electrical conductivity was 651 $\mu\text{S}/\text{cm}$, measured during low water - level conditions, while, accordingly, the lowest value of 315 $\mu\text{S}/\text{cm}$ was measured during high yields.

KEYWORDS: Springs, Medvednica Nature Park, Ponikve, Yield, Physico - chemical characteristics of water

1. UVOD

Medvednica je otočno gorje smješteno u središnjoj Hrvatskoj, između Zagreba na jugu i Hrvatskog zagorja na sjeveru. Smjer pružanja mu je jugozapad - sjeveroistok. Prostor Medvednice obiluje mnogobrojnim, ali u prosjeku slabije izdašnim izvorima. U službenim dokumentima navodi se broj od oko 200 izvora (Plan upravljanja PP Medvednica, 2010), međutim terenska istraživanja pokazala su kako je taj broj višestruko veći. Samo na prisojnoj strani Parka prirode Medvednica dosad je terenski istraženo više od 600 izvora. U sklopu istraživanja istraženi su i izvori na prostoru Ponikava, na jugozapadnom dijelu Medvednice.

1.1 Prostor istraživanja

Ponikve obuhvaćaju prostor na jugozapadu Medvednice (*Slika 1*). Kako i sam naziv upućuje, na ovom prostoru nalazimo brojne ponikve, odnosno reljefne oblike koji ukazuju na to da se radi o krškom prostoru. Prostor obilježavaju trijaski karbonati u kontaktu s krednim klasitima i vapnencima na istoku i miocenskim karbonatnim naslagama na jugu (Šikić i dr., 1977; Šikić i dr., 1979; Šikić, 1995). Prostor Ponikava zapravo je krško polje. Široko je oko 500, a dugačko oko 800 metara. U površinskom dijelu ono je građeno od mlađih holocenskih naslaga koje prekrivaju trijasko naslage (Šikić, 1995; Buzjak, 2001; *Slika 1*). Prostor je obilježen i dvijema ponornicama – potokom Javorščakom koji teče istočnim rubom polja te potokom Jezeranecom koji teče na zapadnom dijelu polja. U ovom radu prostor istraživanja obuhvaća šire područje Ponikava, odnosno topografsko poriječje dviju ponornica koje je definirano korištenjem digitalnog modela reljefa. Prostor se nalazi na nadmorskoj visini između 580 i 460 metara. Površina istraživanog prostora je 1,2 km².

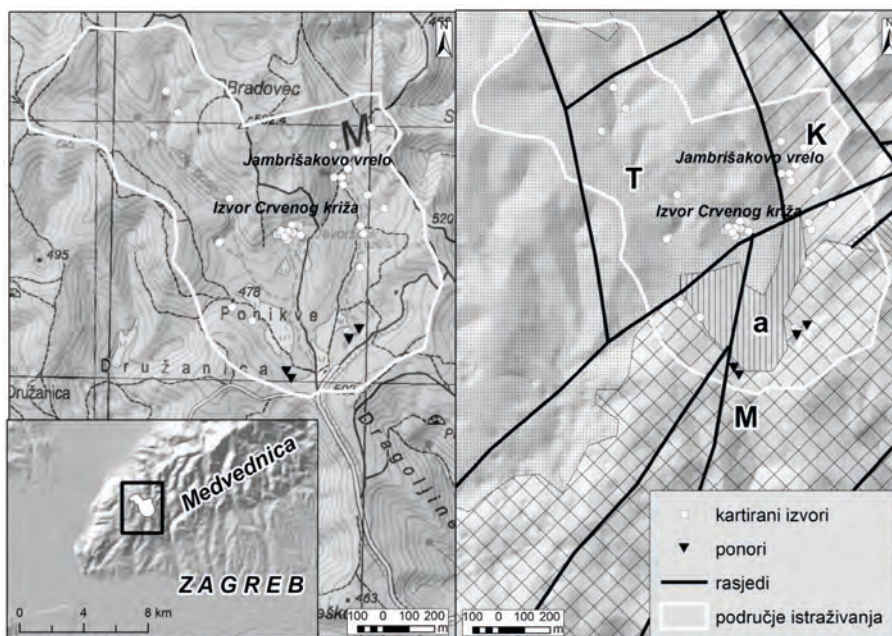
1.2 Metode

Korištenjem dostupnih kartografskih podloga definirane su lokacije poznatih izvora, a pomoću digitalnog modela reljefa određene su lokacije na kojima se izvori potencijalno očekuju. Sve određene lokacije unesene su u kartografsku mobilnu aplikaciju pomoću

koje su terenski provjerene. Terenski dio istraživanja započinjao je rekognosciranjem izvora. Svaki pronađeni izvor fotografiran je fotoaparatom s ugrađenim GPS-om, čime mu je određen geografski smještaj. Osim rekognosciranja, na izvorima na kojima je to bilo moguće, provedena su *in situ* mjerenja. Volumetrijskom metodom mjerena je ili procijenjena izdašnost izvora (protok). Prijenosnim multimetrom izmjerena su osnovna fizikalno - kemijska obilježja izvorske vode: temperatura, pH i električna provodnost (konduktivitet, EC). Nakon terenskog rada svi podaci uneseni su u prostornu bazu podataka korištenjem programa ArcMap. Svakom izvoru dodijeljena je šifra te su tablično pridodani svi pripadajući podaci. Na temelju izmjerene/procijenjene izdašnosti određena je kategorija svakog izvora prema Meinzeru (Meinzer, 1923). Koordinate svakog izvora, odnosno njihov geografski smještaj određen je korištenjem georeferenciranih fotografija i kartografskih podloga.

Primjenom GIS alata analizirana su obilježja prostornog rasporeda izvora, što je uključivalo morfometrijska obilježja izvora, odnosno njihovu nadmorsku visinu, nagib i ekspoziciju. Izračunata je njihova prostorna gustoća te je analiziran njihov raspored s obzirom na geološke elemente prostora.

Na izvoru Jambrišakovo vrelo i na susjednom, neimenovanom izvoru od ožujka 2022. godine provodi se praćenje hidroloških i hidrokemijskih obilježja. Do sada je provedeno više od trideset mjerenja protoka i fizikalno - kemijskih obilježja vode ranije opisanim metodama.



Slika 1. Pregled istraživanog prostora i prostorni raspored izvora (lijevo). Prostorni raspored izvora i gološka obilježja prostora (desno)

Geološki tumač: a - potočni aluvij (holocen); M - vapnenci i klastiti (miocen); K - karbonatni klastiti i Scaglia vapnenci (kreda); T - dolomiti i vapnenci (trijas)
Izvor: izrađeno prema Šikić i dr., 1977; podloga DGU Geoportal - TK 25

2. REZULTATI I RASPRAVA

2.1. Prostorna raspodjela izvora i njihova morfometrijska obilježja

Na topografskoj karti mjerila 1:25.000 (Geoportal DGU) na istraživanom području ucrtano je 8 izvora. Od izvora potoka Javorščaka ucrtan je jedan izvor - Jambrišakovo vrelo, dok ostalih 7 izvora na topografskoj karti pripada poriječju potoka Jezeraneca. Terenskim radom otkriveno je ukupno 39 izvora na istraživanom prostoru. Zanimljivo je što jedan izvor ucrtan na topografskoj karti nije pronađen, već se izvor nalazi stotinjak metara nizvodnije. Nije poznato je li riječ o kartografskoj grešci, generalizaciji karte ili je došlo do promjene mjesta izbijanja vode na površinu.

Na poriječju potoka Jezeranec kartirana su 22 izvora, a na poriječju potoka Javorščak 15 izvora. Dva izvora kartirana su unutar ponikava u kojima ista voda ponire nakon nekoliko metara. Budući da istraživani prostor zauzima površinu od oko 1,2 km², prosječna gustoća izvora istraživanog područja je 32,5 izvora po km². Unatoč relativno velikoj gustoći, njihov prostorni raspored je neujednačen. Najveća koncentracija izvora potoka Jezeraneca, ali i istraživanog područja općenito, nalazi se na području oko izvora Crvenog križa (*Slika 1*). Prema geološkoj karti (Šikić i dr., 1977) na tom širem području nalazi se sjecište / kontakt dvaju rasjeda. Čak 15 izvora nalazi se na tom relativno malom području na kojem je najveća udaljenost između dvaju izvora oko 90 metara zračne linije. Najveća gustoća i broj izvora potoka Javorščaka nalazi se u području izvora Jambrišakovo vrelo, gdje je najveća udaljenost između izvora oko 150 metara. Na tom području pronađeno je osam izvora koji se nalazeu blizini kontakta dvaju rasjeda. Ostali izvori obaju potoka javljaju se kao počeci jaruga, odnosno dolina potoka ili se javljaju na obalama potoka kao tzv. padinski izvori (Stevens i dr., 2021; Martinić, 2022) čija voda teče tek nekoliko metara okomito na smjer glavnog toka, dok se u njega napokon i ne ulije.

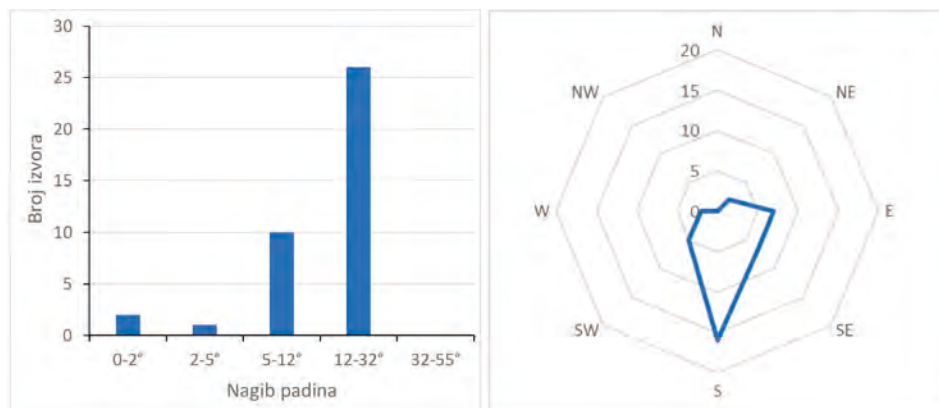
Najviši izvor nalazi se na visini od 527 metara, a najniži na 464 metra nad morem. Podjelom istraživanog prostora na tri razreda nadmorskih visina vidljivo je kako je najveća koncentracija izvora u najnižim predjelima, na visinama između 460 i 500 metara. Na tim visinama nalazimo 33 istraživana izvora (85 %). Gustoća izvora za to područje iznosi 60 izvora po km². Na nadmorskim visinama između 500 i 540 metara nalazi se 6 preostalih izvora, dok ih na visinama većim od 540 metara nema (*Tablica 1*).

Tablica 1. Raspodjela izvora po razredima nadmorske visine

Nadmorska visina (m)	Broj izvora (N)	Udio izvora (%)	Površina razreda n.v. (km ²)	Udio površine razreda n.v. (%)	Gustoća izvora (N/P)
460 - 500	33	84.62	0.55	44.00	60.00
500 - 540	6	15.38	0.32	25.60	18.75
540 - 580	0	0.00	0.38	30.40	0.00
Ukupno	39	100	1.25	100	/

Izvori se na istraživanom području nalaze u rasponu nagiba padina od gotovo zaravnjenih područja (manjim od 2°) do padina s nagibom od 28°. Najveći broj izvora nalazi se na padinama nagiba od 12° do 32°, njih 26 (66,7 %), potom na padinama nagiba od 5 do 12° (10 izvora, 25,6 %), te samo 3 izvora na površinama blagih nagiba, manjih od 5° (*Slika*

2). Na istraživanom području nisu nađeni izvori na padinama strmijim od 28°, međutim udio takvih padina u ukupnom istraživanom prostoru manji je od 3 %.



Slika 2. Broj izvora na padinama određenih nagiba (lijevo) i broj izvora prema orijentaciji padina (desno)

Orijentacija padina na kojima se nalaze izvori pretežno je južna, a zatim istočna, jugoistočna te jugozapadna (Slika 2). Takva orijentacija izvora sukladna je pružanju potoka, odnosno njihovom smjeru tečenja iz pravca sjevera prema jugu u slučaju Javorščaka, odnosno iz pravca sjeverozapada prema jugoistoku u slučaju potoka Jezeranec. Orijentacija padina na kojoj se javljaju izvori također može ukazivati na orijentaciju uslojenosti i smjerove pružanja pukotina, međutim to je potrebno ustanoviti dodatnim istraživanjima.

2.2. Hidrološka i hidrokemijska obilježja izvora

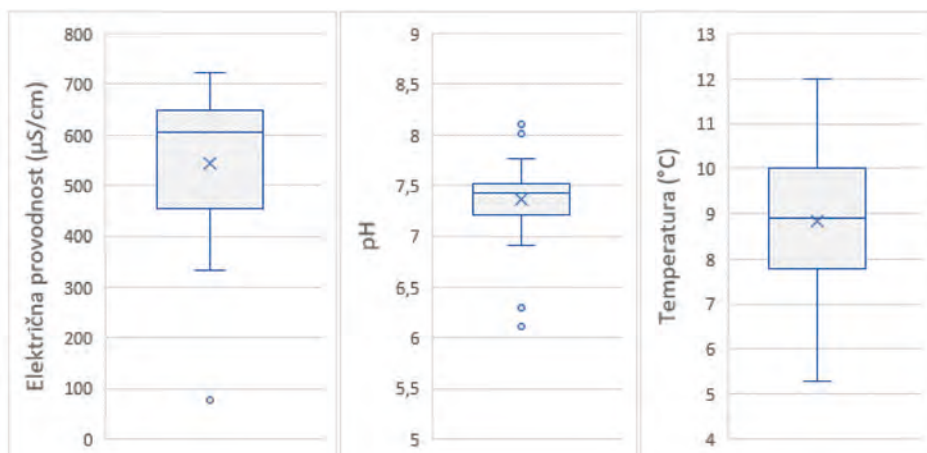
Volumetrijska mjerenja izvora i procjene izdašnosti pokazale su kako većina istraživanih izvora pripada kategorijama VI. i VII. prema Meinzeru (Tablica 2), što znači da im je prosječna izdašnost (protok) između 0.01 l/s i 1 l/s. Ukupno 21 izvor (51,28 %) pripada kategoriji VI. (0,1 - 1 l/s), a 15 izvora (38,46 %) pripada kategoriji VII. (0,01 - 0,1 l/s). Dva izvora imaju prosječnu izdašnost veću od 1 l/s, a to su Jambrišakovo vrelo i jedan od početnih izvora potoka Jezeranec. Za dva izvora procijenjena je izdašnost manja od 0.01 l/s, ponajviše zbog svoje povremenosti.

Tablica 2. Broj izvora prema Meinzerovim kategorijama izdašnosti

Klasa prema Meinzeru (prosječna izdašnost)	Broj izvora	Udio izvora (%)
V. (1 - 10 l/s)	2	5,13
VI. (0,1 - 1 l/s)	20	51,28
VII. (0,01 - 0,1 L/s)	15	38,46
VIII. (< 0,01 l/s)	2	5,13
Ukupno	39	100

Izmjerene vrijednosti električne provodnosti (konduktiviteta) vode na izvorima kreću se od 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ do 723 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dok je na dva povremena izvora neposredno nakon oborina izmjerena vodljivost manja od 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Slika 3). Većina izmjerenih vrijednosti kreće se između 450 i 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$, što ukazuje na lako topive karbonatne stijene u vodonosniku. Izmjerene vrijednosti pH izvorske vode kreću se od 6,1 do 8,1, dok više od 80 % izmjerenih uzoraka ima pH između 7 i 8 (Slika 3). Vrlo niske izmjerene vrijednosti električne provodnosti i niže vrijednosti pH najčešće su rezultat miješanja podzemne vode iz vodonosnika s oborinskim koje su se neposredno prije mjerenja (dan ili dva ranije) procijedile u podzemlje. Sličan utjecaj ima i topljenje snijega.

Izmjerene vrijednosti temperature vode od 5,3 °C do 12 °C. Većina izmjerenih temperatura izvorske vode kreće se između 8 i 10 °C (Slika 3), što odgovara srednjoj godišnjoj temperaturi zraka ovog područja. Niske temperaturne vrijednosti izmjerene su u zimskim mjesecima pri nižim temperaturama zraka i prilikom topljenja snijega, što je utjecalo na niže vrijednosti. Isto tako, u ljetnim mjesecima, pri sporijem otjecanju vode brzo dolazi do njenog zagrijavanja što za rezultat može imati izmjerene temperature vode.



Slika 3. Izmjerena fizikalno - kemijska obilježja izvorske vode

2.3. Praćenje obilježja vode Jambrišakovog vrela

Jambrišakovo vrelo je stalan krški izvor čija voda iz podzemlja izlazi iz špilje duljine 6,5 metara. Nastala je duž vidljive pukotine smjera SZ - JI u trijaskom vapencu (Buzjak, 2001). Hidrološkim praćenjem Jambrišakovog vrela pokušala su se ustanoviti obilježja koja nije moguće opisati jednim terenskim mjerenjem. Prije svega je cilj bio odrediti varijabilnost protoka (izdašnosti) izvora, ali i varijabilnost fizikalno - kemijskih obilježja vode. Osim samog izvora Jambrišakovo vrelo, paralelno su praćena i obilježja na 30 metara udaljenom manjem izvoru, koji izvire iz iste padine na oko 2 metra nižoj nadmorskoj visini.

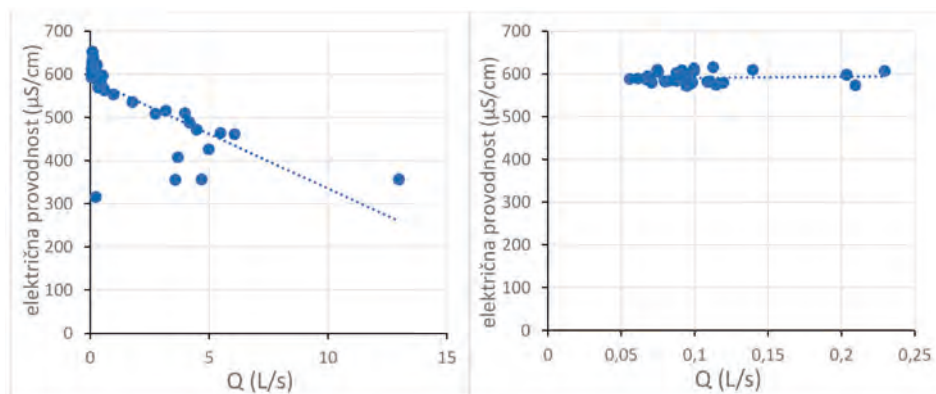
Jambrišakovo vrelo pokazalo je relativno veliku varijabilnost izdašnosti i brzinu reakcije na oborine. Maksimalna zabilježena vrijednost protoka u promatranom razdoblju veća je od 12 l/s, a najmanja izmjerena vrijednost je 0,07 l/s. Istovremeno, na susjednom, manjem izvoru nisu zabilježene velike varijacije u izdašnosti. Najveća izmjerena vrijednost izdašnosti bila je 0,23 l/s, a najniža 0,06 l/s (Tablica 3).

Varijacije u vrijednostima fizikalno - kemijskih obilježja također ukazuju na utjecaj oborina u slučaju Jambrišakovog vrela. Najviša vrijednost električne provodnosti iznosila je 651 $\mu\text{S}/\text{cm}$, te je izmjerena za niskih voda, a sukladno tome, najniža 315 $\mu\text{S}/\text{cm}$ izmjerena je za visokih voda. U slučaju malog, neimenovanog izvora varijacije su ponovno puno manje. Najviša izmjerena vrijednost električne provodnosti bila je 614 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a najniža 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tablica 3).

Tablica 3. Izmjerene vrijednosti izdašnosti (Q) i električne provodnosti (EC) na Jambrišakovom vrelu i susjednom izvoru

	Izdašnost (l/s)			Električna provodnost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		
	Q max	Q min	Q sred	EC max	EC min	EC sred
Jambrišakovo vrelo	13,00	0,07	1,89	651	315	538
Susjedni izvor	0,23	0,06	0,10	614	570	590

Odnos izmjerenih vrijednosti električne provodnosti i izdašnosti (Q) izvora može ukazati na vrstu podzemnog otjecanja vode. U slučaju Jambrišakovog vrela oborinska voda razrjeđuje podzemnu vodu u vodonosniku koja se ondje dulje zadržava (Slika 4). Dolazi do njihovog miješanja na što ukazuje na trend pada vrijednosti električne provodnosti s porastom vrijednosti izdašnosti. U slučaju susjednog izvora trend ne pokazuje promjene električne vodljivosti prilikom promjene izdašnosti (Slika 4). Takvi rezultati ukazuju da ne postoji naglo razrjeđivanje izvorske vode oborinskom. Jedno od mogućih objašnjenja je da je u slučaju susjednog izvora prisutan tzv. *Piston flow* mehanizam otjecanja. U takvom sustavu oborinska voda koja ulazi u podzemlje istiskuje podzemnu vodu koja se ondje dulje zadržala te ona izlazi kroz izvor. Zbog toga nema promjene u vrijednostima električne provodnosti vode bez obzira na promjenu protoka (Sukhija B.S., 2003; Mostowik i dr., 2021). Za potvrdu opisane hipoteze potrebna su daljnja istraživanja.



Slika 4. Odnos izmjerenih vrijednosti električne provodnosti vode i izdašnost (Q) na Jambrišakovom vrelu (lijevo) i susjednom izvoru (desno)

Minimalna izmjerena vrijednost pH kod obaju izvora iznosila je 7, a najviša 7,7. Temperatura vode izmjerena na Jambrišakovom vrelu kretala se u rasponu od 9,2 °C do 11,5 °C, dok je u slučaju susjednog izvora ta varijacija bila veća, a temperature su se kretale u vrijednostima od 7,7 do 12,3 °C. Razlike u temperaturnim mjerenjima mogu se pripisati i ranije opisanim vremenskim uvjetima u trenucima mjerenja. Susjedni izvor manje je zasjenjen te je voda na mjernejoj lokaciji podložnija zagrijavanju, posebno zbog smanjene brzine tečenja. U zimskim mjesecima voda je zbog morfologije izvora na mjernejoj mjestu pod utjecajem ohlađenog sloja tla.

ZAKLJUČAK

Izvori na prostoru Ponikava su mnogobrojni, a njihov prostorni raspored, ali i obilježja vode odražavaju (hidro)geološke uvjete ovog prostora. Prostorni raspored izvora definiran je stukturalno-geološkim obilježjima, a izvori se javljaju većinom na nižim nadmorskim visinama. Prevladavaju izvori prosječne izdašnosti manje od 1 l/s, a izvorska voda s relativno visokim vrijednostima električne provodnosti ukazuje na karbonatni sastav vodonosnika.

Praćenje izvora Jambrišakovo vrelo i njemu susjednog izvora ukazuje na raznolikost obilježja izvora na ovom relativno malom prostoru istraživanja. Iako su dva praćena izvora udaljena tek nekoliko desetaka metara jedan od drugog pokazali su različita obilježja u obliku varijabilnosti fizikalno - kemijskim obilježja vode, kao i varijabilnosti izdašnosti. Te razlike ukazuju na mogućnost postojanja različitih hidrauličkih svojstava njihovih vodonosnika, što bi se trebalo utvrditi daljnjim istraživanjima.

Istraživanje je pokazalo kako je osim kartiranja izvora i trenutnih *in situ* mjerenja potrebno pratiti odabrane izvore kako bi se bolje upoznala njihova obilježja.

LITERATURA

- [1] Buzjak, N. (2001): *Geomorfološka analiza polja u kršu Ponikve (Medvednica)*. E-škola geografije. <https://antares.geog.pmf.hr/eskola/index.php/2021/11/27/geomorfoloska-analiza-polja-u-krsu-ponikve-medvednica/> (preuzeto 12.9.2023.)
- [2] Farkaš-Topolnik, N. (ur.) (2010): *Plan upravljanja Parka prirode Medvednica*. JU Park prirode Medvednica, Zagreb. 78 str.
- [3] Geoportal DGU: *Topografske karte mjerila 1:25.000*, <https://geoportal.dgu.hr/#/menu/podaci-i-servisi> (12.9.2023.)
- [4] Martinić, I., (2022): *Pregled klasifikacija i suvremenih istraživanja izvora u svijetu i Hrvatskoj*. Hrvatski geografski glasnik, 84; 31 - 68 doi:10.21861/HGG.2022.84.01.02
- [5] Meinzer, O. E. (1923): *Outline of Ground-Water Hydrology*, US Government Printing Office, Washington D.C.
- [6] Mostowik, K., Krzyczman, D., Płaczowska, E., Rzonca, B., Siwek, J., Waclawczyk, P. (2021): *Spring recharge and groundwater flow patterns in flysch aquifer in the Polonina Wetlińska Massif in the Carpathian Mountains*. Journal of Mountain Science. 18, 819–833. <https://doi.org/10.1007/s11629-020-6524-2>

- [7] Stevens, L. E., Schenk, E. R., Springer, A.E. (2021): *Springs ecosystem classification*. Ecological Applications 31 (1), DOI:e002218. 10.1002/eap.2218.
- [8] Sukhija B.S., Reddy, D.V., Nagabhushanam, P., Hussain, S. (2003): *Recharge processes: piston flow vs preferential flow in semi-arid aquifers of India*. Hydrogeology Journal 11: 387-395.
- [9] Šikić, K. (ur.) (1995): *Geološki vodič Medvednice*. IGI & INA, Zagreb, 199 str.
- [10] Šikić, K., Basch, O., Šimunić, A. (1977): *OGK Zagreb, 1:100 000, list L 38-80*, Redakcija i izdanje Saveznog geološkog zavoda Beograd.
- [11] Šikić, K., Basch, O., Šimunić, A. (1979): *OGK 1:100 000, Tumač za list Zagreb L 38-80*, Savezni geološki zavod Beograd.

AUTORI:

Ivan Martinić, mag. geogr. ^a

izv. prof. dr. sc. Ivan Čanjevac ^a

^a Geografski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Marulićev trg 19/II, 10000 Zagreb, Hrvatska, imartini@geog.pmf.hr, canjevac@geog.pmf.hr



R 1.26.

PRIMJENA METODE MAGNETNE SUSCEPTIBILNOSTI U ISTRAŽIVANJIMA PONORNIH ZONA U KRŠU

Srđan Pichler, Stanislav Frančišković - Bilinski, Dalibor Paar

SAŽETAK: Krš predstavlja jednu od najvažnijih i najraznovrsnijih svjetskih reljefnih jedinica. Glavne hidrogeološke karakteristike krških područja su prevladavajuća podzemna cirkulacija vode i veliki krški izvori. Krški vodonosnici su od velike važnosti jer ih gotovo četvrtina svjetske populacije koristi kao izvor pitke vode. Krška područja važna su za vodoopskrbu glavnih turističkih područja Hrvatske. Krški vodonosnici vrlo su ranjivi i potrebna je njihova zaštita, budući da se onečišćivači kroz krško podzemlje mogu transportirati velikom brzinom na velike udaljenosti i onečistiti izvore pitke vode.

U ovom istraživanju želimo istaknuti važnost istraživanja i praćenja ponora i ponornih zona u kršu pri čemu predlažemo uvođenje relativno nove metode mjerenja magnetske susceptibilnosti. Ova metoda izuzetno je pogodna za analizu velikog broja uzoraka, jer je vrlo brza, za razliku od sporih i složenih kemijskih analiza. Povišene vrijednosti magnetske susceptibilnosti ukazuju na vjerojatno povišene koncentracije čitavog niza teških metala u krškom okolišu. Ponori su dimenzijama veliki i složeni sustavi u kršu (često više kilometara duljine i velikog volumena). Detaljnijom magnetskom analizom mogu se detektirati uzorci s povećanom koncentracijom elemenata koji su indikatori pojedinih okolišnih procesa, kao i ukazati na mogući antropogeni utjecaj onečišćenja. Potencijale ovih istraživanja pokazati ćemo na primjeru doline rijeke Dobre i Đulinog ponora.

KLJUČNE RIJEČI: Krš, Ponori, Ponorne zone, Detekcija onečišćenja, Magnetska susceptibilnost

APPLYING THE MAGNETIC SUSCEPTABILITY METHOD IN THE RESEARCH OF SINKHOLE ZONES IN THE KARST

ABSTRACT: Karst is one of the most important and diverse relief units in the world. The main hydrogeological characteristics of karst areas are the prevailing underground water circulation and large karst springs. Karst aquifers are of great importance because almost a quarter of the world population uses them as a source of drinking water. Karst areas are important for water supply of Croatia's main tourist areas. Karst aquifers are very vulnerable and need to be protected, since contaminants can be transported through the karst subsoil at high speed over long distances and contaminate sources of drinking water. In this paper, we would like to highlight the importance of research and monitoring of

sinkholes and sinkhole zones in the karst. We are proposing the introduction of a relatively new method of measuring magnetic susceptibility. This method is exceptionally suitable for analyses of a large number of samples, because it is very fast, unlike the slow and complex chemical analyses. The elevated values of magnetic susceptibility indicate probable elevated concentrations of a whole range of heavy metals in the karst environment. Sinkholes are large and complex karst systems (often several kilometers long and having a large volume). A more detailed magnetic analysis can detect samples with increased concentrations of elements that are indicators of certain environmental processes, as well as indicate a possible anthropogenic impact of contamination. The potential of these researches will be shown using the example of the Dobra river valley and Đula's sinkhole.

KEYWORDS: Karst, Sinkholes, Sinkhole zones, Contamination detection, Magnetic susceptibility

1. UVOD

Magnetska susceptibilnost je stupanj magnetizacije nekog materijala kao odgovor na primijenjeno magnetsko polje. Metoda određivanja volumne magnetske susceptibilnosti može se koristiti kao brzi indikator antropogenog onečišćenja nekim metalima. Razvoj primjene magnetskih mjerenja u okolišnim istraživanjima započeo je tek u drugoj polovici 80 - tih i 90 - tim godinama 20. stoljeća. Istraživanje primjene ove metode na sedimentima započeli su Thompson i Oldfield (1986), a cijeli niz autora je koristi za različita istraživanja u geoznanostima. Ubrzo jedna od glavnih tema istraživanja postaje upotreba magnetskih mjerenja za brzu detekciju anomalija u okolišu koje nakon toga mogu biti tema složenih kemijskih analiza u istraživanjima okoliša. Više istraživanja je pokazalo da postoji visoka korelacija između distribucije magnetskih čestica i distribucije teških metala oko industrijskih područja, te je pokazano da je distribucija magnetske susceptibilnosti usko povezana s taloženjem industrijske prašine i da se magnetska mjerenja mogu koristiti kao metoda za detektiranje prisustva teških metala u tlima. Većina autora suglasna je sa zaključkom da je ova metoda obećavajuća i pouzdana za identificiranje onečišćenih područja. Ovom metodom moguće je obraditi gustu mrežu točaka uzorkovanja, a onda na osnovu izrađenih karata magnetske susceptibilnosti odrediti najbitnije točke na kojima će se izvesti i kemijske analize. Time se doprinosi kvaliteti istraživanja stanja okoliša.

Mjerenja magnetske susceptibilnosti u Hrvatskoj se donedavno nisu koristila u svrhu procjene stanja okoliša. Prva ovakva mjerenja u Hrvatskoj izveo je Frančišković - Bilinski (2008, 2014, 2017) na uzorcima vodotočnih sedimenata iz sliva Kupe. Kao područje s najvišim vrijednostima magnetske susceptibilnosti pokazao se donji tok rijeke Mrežnice. Pri tome je utvrđeno da je rijeka Mrežnica u blizini Duge Rese, onečišćena ispuštanjem ugljene troske i pepela iz bivše tvornice tekstila i zbog toga služi kao idealan "prirodni laboratorij" za proučavanje nizvodnog transporta materijala u riječni sustav. Utvrđeno je da je Gornja Dobra onečišćena čitavim nizom organskih onečišćivača (Frančišković - Bilinski i sur., 2005.) koja zatim nisu detektirana nakon Đulinog ponora, na donjem toku Dobre. To je indicacija da se one talože negdje unutar špiljskih kanala ovog podzemnog sustava, a to bi jednoga dana moglo dovesti do njihove remobilizacije, te mogućeg onečišćenja Donje Dobre. To je bila motivacija da se u okviru ovog preliminarnog istraživanja koristeći mjerenja magnetske susceptibilnosti utvrdi postoje li pretpostavljena taloženja onečišćenja u špiljskim kanalima.

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Kao područje istraživanja odabrali smo ponornu zonu rijeke Dobre, dakle Đulin ponor u Ogulinu. Dobra je hrvatska rijeka ponornica. Izvire iz dva izvora: kod Bukova vrha i kod Skrada (selo Gornja Dobra kraj stare ceste Zagreb - Rijeka). Duljine je 107,9 km i porječja površine 900 km². Dobra se sastoji od tri svojstvena dijela toka. Od izvora do Đulinog ponora u Ogulinu, ima naziv Gornja Dobra ili Ogulinska Dobra, te duljinu od 51,2 kilometra. Nakon poniranja prolazi podzemljem kroz špiljski sustav Đula - Medvedica, te ponovno izvire kraj sela Gojak, po kojem se nekad naziva i Gojačka Dobra, te se koristi za Hidroelektranu Gojak. Nakon HE Gojak naziva se uglavnom Donja Dobra. Nakon 52,1 kilometra toka utječe u Kupu uzvodno od Karlovca.

Gornja Dobra je tipična bujična voda s naglim i velikim promjenama protoka, a prosječni pad je 1,4 %. Kod Vrbovskog se priključuje mala rijeka Kamačnik. Do 1957. Gornja Dobra je ponirala u Đulinom ponoru, jedinstvenom spomeniku prirode u samom gradu Ogulinu. Izgradnjom Hidroelektrane Gojak (1,5 km uzvodno od Đulinog ponora) prelivnom je branom skrenuta u sistem koji napaja turbine HE Gojak i stvoreno je umjetno jezero Bukovnik.

Špiljski sustav Đulin ponor - Medvedica je drugi najdulji speleološki objekt u Republici Hrvatskoj. Sastoji se od labirinta kanala dugih 16.396 m. Visinska razlika između najviše i najniže točke u špiljskom sustavu je 83,5 m. Rasprostire se direktno ispod grada Ogulina, centra grada te prema sjeveru. U gradu postoje tri ulaza u špiljski sustav: špiljski ulaz Đulin ponor, jamski ulaz Badanj i špiljski ulaz Medvedica (Čepelak, 1986, 1987.).

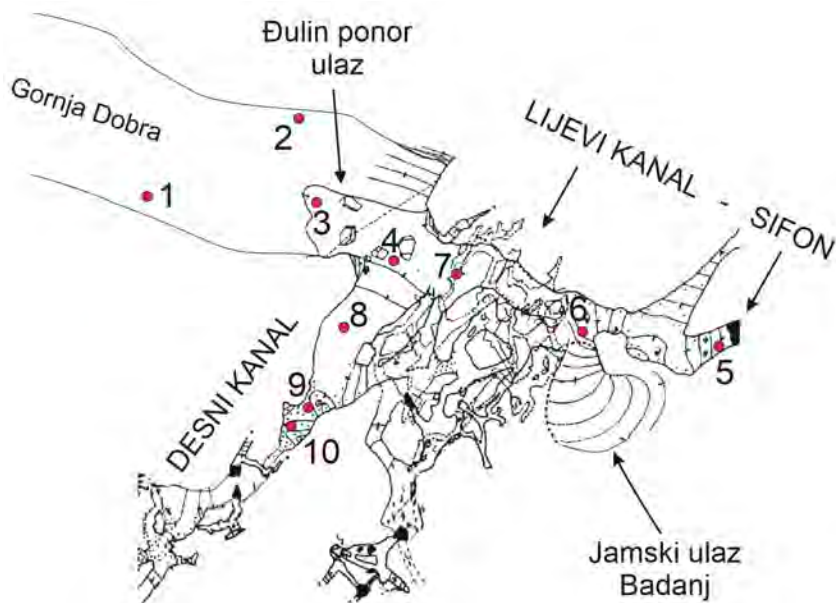


Slika 1. Ulazna dvorana Đulinog ponora u koji ponire Gornja Dobra

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Uzorkovanje

Uzorkovanje sedimenta je izvedeno u rujnu 2023. na 10 odabranih lokacija prije ulaza u Đulin ponor, u ulaznom dijelu te lijevom i desno kanalu Đulinog ponora kako je naznačeno na slici 2. Uzorkovanje je izvedeno plastičnom lopaticom, a uzorci su stavljeni u plastične vrećice. Alat i vrećice su prethodno provjereni da ne pokazuju mjerljivu magnetsku susceptibilnost.



Slika 2. Pozicije uzorkovanja u Đulinom ponoru: 1 - U kanjonu Gornje Dobre u ponornoj zoni 30 m prije ulaza u Đulin ponor; 2 - U kanjonu Gornje Dobre neposredno prije ulaza u Đulin ponor; 3 - Na ulazu u Đulin ponor; 4 - U ulaznoj dvorani Đulinog ponora; 5 - Uz glavni sifon u lijevom kanalu; 6 - Ispod ulaza Badanj; 7 - Ulaz u lijevi kanal; 8 - Desni kanal; 9 - Desni kanal; 10 - Desni kanal

3.2. Mjerenja magnetske susceptibilnosti

Za određivanje magnetske susceptibilnosti (izražene kao SI jedinice) korišten je instrument SM30, proizvođača ZH Instruments, Brno, Češka Republika. To je osjetljiv i precizan instrument za terenska i laboratorijska mjerenja magnetske susceptibilnosti izdanaka stijena, bušotina ili uzoraka stijena, tala, sedimenata, siga i ostalih geoloških materijala. Zahvaljujući visokoj osjetljivosti može mjeriti sedimente i stijene s iznimno niskom razinom magnetske osjetljivosti. Osim toga, može jasno mjeriti i dijamagnetske materijale kao što su vapnenac, kvarc i voda.

Osjetljivost SM30 je 10 puta bolja od one konkurentskih instrumenata (1×10^{-7} SI jedinica). Rezultati se prikazuju u 1×10^{-3} SI jedinica. Zahvaljujući sofisticiranoj obradi signala, šum induciran u zavojnici je dobro potisnut na 1×10^{-7} SI jedinica. Dizajn senzora omogućuje dobivanje 90 % signala iz prvih 20 mm stijene. Ova značajka omogućuje točnija očitavanja na neravnim površinama svih vrsta stijena. SM30 ima 8 kHz LC oscilator s velikom zavojnicom kao senzorom. Frekvencija osciliranja se mjeri kada se zavojnica postavi na površinu mjenenog uzorka ili kada se zavojnica udalji desetke cm. SM30 nudi šest načina mjerenja - četiri od njih kompenziraju linearni dio toplinskog pomaka. Iako je instrument malen, zavojnica je dovoljno velikog promjera za mjerenje dovoljno velike rezolucije. Uz instrument se isporučuje softver za testiranje. Svaki ispitivani uzorak mjenen je tri puta u laboratoriju, a kao rezultat mjerenja uzeta je srednja vrijednost triju mjerenja.

4. REZULTATI I RASPRAVA

U Tablici 1. prikazani su rezultati mjerenja magnetske susceptibilnosti (MS) u sakupljenim uzorcima (1 - 10) iz Đulinog ponora, dok se u Tablici 2. nalaze prikazani bazični statistički parametri.

Tablica 1. Rezultati mjerenja magnetske susceptibilnosti (MS) u uzorcima iz Đulinog ponora

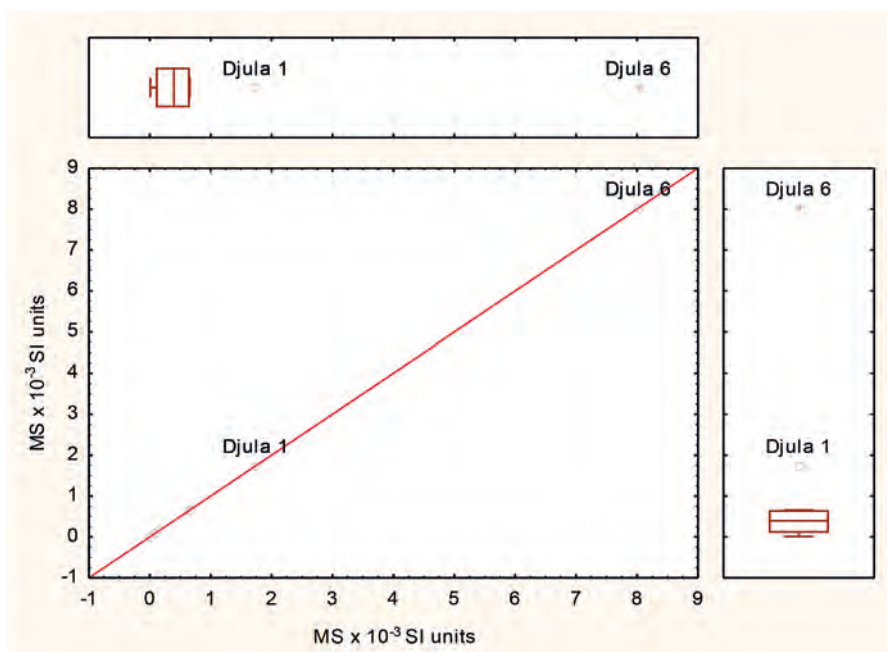
Sample	MS x 10 ⁻³ SI units
Djula 1	1,743
Djula 2	0,168
Djula 3	0,164
Djula 4	0,628
Djula 5	0,636
Djula 6	8,027
Djula 7	0,658
Djula 8	0,099
Djula 9	0,009
Djula 10	0,091

Tablica 2. Bazični statistički parametri MS u uzorcima iz Đulinog ponora

Descriptive Statistics (Djulin-ponor_MS_16-09-2023.sta)											
	Valid N	Mean	Median	Sum	Minimum	Maximum	Range	Variance	Std.Dev.	Skewness	Kurtosis
MS x 10 ⁻³ SI units	10	1,222300	0,398000	12,22300	0,009000	8,027000	8,018000	5,981748	2,445761	2,920440	8,789387

Kao što se može vidjeti iz Tablice 2, raspon izmjerenih vrijednosti MS u sakupljenim uzorcima je vrlo velik i raspodjela je jako nepravilna, što ukazuje na antropogeni utjecaj. Kako bi se dobila još bolja slika raspodjele vrijednosti MS, te postojanja statističkih anomalija, napravljena je tzv. „boxplot“ analiza, čiji su rezultati prikazani u Slici 3.

Na slici 3 se vidi da je raspodjela jako nepravilna i prisutne su dvije anomalije MS: izuzetno veliki ekstrem u uzorku Djula 6, te dosta izraženi outlier (niži stupanj anomalije) u uzorku Djula 1. Pretpostavke o uzroku ovako visokih anomalija na ove dvije lokacije biti će iznesene malo kasnije u tekstu, a na tim lokalitetima je vjerojatno i jako povećana koncentracija teških metala, samo još nisu rađene takve analize, ali može se reći da je to indicacija za to. Svi ostali uzorci su u okviru uobičajene pojavnosti za ovakav krški (podzemni) teren i nemaju jako visoke vrijednosti MS, a ni statistički ne predstavljaju anomalne vrijednosti.



Slika 3. Boxplot analiza uzoraka iz Đulinog ponora

U svrhu još detaljnije interpretacije rezultata, provedena je i klasteraska analiza Q-modality, rađena s 3 klastera (Statsoft, 2001.). Rezultati ove analize prikazani su u Tablicama 3. do 5.

Tablica 3. Srednje vrijednosti MS po pojedinim klasterima (1-3)

Cluster Means (Djulin-ponor_MS_16-09-2023.sta)			
	Cluster - No. 1	Cluster - No. 2	Cluster - No. 3
MS x 10⁻³ SI units	8,027000	0,916250	0,106200

Tablica 4. Euklidske udaljenosti između 3 klastera

Euclidean Distances between Clusters (Djulin-ponor_MS_16-09-2023.sta) Distances below diagonal Squared distances above diagonal			
	No. 1	No. 2	No. 3
No. 1	0,000000	50,56277	62,73907
No. 2	7,110750	0,00000	0,65618
No. 3	7,920800	0,81005	0,00000

Tablica 5 (a-c). Članovi pojedinih klastera

a Members of Cluster Number 1 (Djulin-ponor_MS_16-09-2023.sta) and Distances from Respective Cluster Center Cluster contains 1 cases	
	Distance
Djula 6	0,00

b Members of Cluster Number 2 (Djulin-ponor_MS_16-09-2023.sta) and Distances from Respective Cluster Center Cluster contains 4 cases	
	Distance
Djula 1	0,826750
Djula 4	0,288250
Djula 5	0,280250
Djula 7	0,258250

c Members of Cluster Number 3 (Djulin-ponor_MS_16-09-2023.sta) and Distances from Respective Cluster Center Cluster contains 5 cases	
	Distance
Djula 2	0,061800
Djula 3	0,057800
Djula 8	0,007200
Djula 9	0,097200
Djula 10	0,015200

Interpretacija klasterske analize: Kada se ekstrahiraju tri klastera, tada se Klaster 1 sastoji samo od jednog uzorka - Djula 6, koji je izuzetno anomalan. Ta anomalija je toliko jaka da se ovaj uzorak ne može uklopiti niti u jedan drugi klaster i vrlo je specifičan, a vjerojatno je to uzrokovano antropogenim utjecajem na toj lokaciji.

Klaster 2 se sastoji od 4 uzorka - Djula 1, 4, 5 i 7. Od njih uzorak 1 statistički predstavlja outlier, međutim on nije dovoljno jak da bi se izdvojio u zaseban klaster. Ipak uzorci u ovom klasteru imaju nešto povećanu srednju vrijednost MS, te se stoga može konstatirati da su uzorci koji pripadaju ovom klasteru barem pod manjim antropogenim utjecajem.

Klaster 3 se sastoji od 5 uzoraka - Djula 2, 3, 8, 9 i 10, a svi ovi uzorci imaju izuzetno niske vrijednosti MS, te stoga nije za očekivati da su opterećeni teškim metalima, niti pod antropogenim utjecajem.

4.1. Rasprava svih rezultata

Najveća susceptibilnost zabilježena je na lokaciji Djula 6 ispod ulaza Badanj, gdje je poznato da su u prošlosti stanovnici bacali otpad, a druga točka s najvećom vrijednosti je Djula 1 na 30 m ispred ulaza Đula. Na ove obje ulazne lokacije u špiljski sustav se sigurno radi o dolasku vanjskih onečišćenja, koja se kasnije rasprše po sustavu. Lokaliteti Djula 2 i 3 su praktički na ulazu u špilju, a čim se uđe u ulaznu dvoranu susceptibilnost naraste oko 5 puta (točke Djula 4 - 7 - 5) jer se možda na ulazu bolje ispiru onečišćenja, a već u ulaznoj dvorani i dalje u lijevom kanalu ona se bolje talože zbog specifičnosti špiljskih uvjeta. Sustav ima glavni tok koji ide preko mjernih točaka 3 - 4 - 7 - 6 - 5 gdje završava u sifonu i to je lijevi kanal. 4 - 7 - 5 imaju podudarne vrijednosti što je logično, jer se nalaze na putu istog toka prema glavnom sifonu, a na tom putu nalazi se anomalija na točki Djula 6, a razlozi su već opisani.

Kod visokih vodostaja Gornje Dobre sifon u Đulinom ponoru više ne može povlačiti vodu, njena razina se diže i voda kreće u desni kanal u kojemu se nalaze lokacije uzorkovanja Djula 8 - 9 - 10. Dakle, ovaj desni kanal je puno rjeđe pod vodom nego lijevi, te je stoga logično da se u njemu taloži znatno manje onečišćenja nego u lijevom. Isto tako, ovi uzorci iz desnog kanala su puno krupnijih zrna, što isto može biti jedan od razloga za manju adsorpciju teških metala na tom dijelu ponornog sustava. Time se može objasniti činjenica da su susceptibilnosti na lijevom kanalu (4 - 7 - 5) za praktički red veličine veće nego u desnom kanalu (8 - 9 - 10), što je logično jer oni imaju različite vodne režime i više onečišćenja se taloži na glavnom pravcu prema glavnom sifonu u lijevom kanalu.

ZAKLJUČAK

Ova preliminarna istraživanja su vrlo obećavajuća i dala su mnoge ideje za daljnja istraživanja na području Đulinog ponora, ali i čitavog toka rijeke Dobre, čiji gornji tok ima povećane vrijednosti magnetske susceptibilnosti, a i poznato je da je opterećen čitavim nizom organskih onečišćivača.

Pokazali smo da je metoda mjerenja magnetske susceptibilnosti učinkovita za brzu detekciju onečišćenja u osjetljivom krškom području. U sedimentima Đulinog ponora takva onečišćenja smo očekivali s obzirom na prethodno provedena istraživanja Gornje Dobre. Ista metoda se može primijeniti na druga područja gdje ne znamo razinu onečišćenja, odnosno želimo brzo ustanoviti da li ona postoje i da li su potrebna sustavnija istraživanja. Stoga se primjena ove metode može preporučiti i za brzo, jeftino i efikasno detektiranje mogućih antropogenih onečišćenja u različitim krškim ekosustavima.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se Speleološkom odsjeku PDS Velebit na logistici tijekom istraživanja i ustupanju speleološkog nacrtu Đulinog ponora.

LITERATURA

- [1] Čepelak, M. (1986): *Špiljski sustav Đula - Medvedica*. Speleolog 1984-1985 (XXXII-XXXIII): 2-24. Zagreb
- [2] Čepelak, M. (1987): *Rezultati speleoloških istraživanja Špiljskog sustava Đulin ponor - Medvedica u periodu od 1984.-1987. godine*, <http://speleologija.eu/DjulaMedvedica/index.html>
- [3] Frančišković - Bilinski S, Bilinski H, Širac S (2005): *Organic pollutants in stream sediments of Kupa River drainage basin*. Fresenius Env. Bull. 14(4):282-290.
- [4] Frančišković - Bilinski S (2008): *Detection of coal combustion products in stream sediments by chemical analysis and magnetic susceptibility measurements*. Min. Mag. 72:43–48. <https://doi.org/10.1180/minmag.2008.072.1.43>
- [5] Frančišković - Bilinski S, Bilinski H, Maldini K, Milović S, Zhang Qi, Appel E (2017): *Chemical and magnetic tracing of coal slag pollutants in karstic river sediments*. Environ Earth Sci 76:476. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6792-5>
- [6] Frančišković - Bilinski S, Bilinski H, Scholger R, Tomašić N, Maldini K (2014): *Magnetic spherules in sediments of the sinking karstic Dobra River (Croatia)*. J Soils Sediments 14:600–614. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0808-x>
- [7] StatSoft (2001): Statistica, Data analysis software system, Version 6.
- [8] Thompson R, Oldfield F (1986): *Environmental Magnetism*. Allen & Unwin, London

AUTORI

mr. sc. Srđan Pichler ^a

dr. sc. Stanislav Frančišković - Bilinski ^b

dr. sc. Dalibor Paar ^c

^a Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost, Radnička cesta 80, 10000 Zagreb, Hrvatska, srdan.pichler@fzoeu.hr

^b Institut Ruđer Bošković, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Hrvatska, francis@irb.hr

^c Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Bijenička cesta 32, 10000 Zagreb, Hrvatska, dpaar.phy@pmf.hr



R 1.27.

„NOVA“ ONEČIŠĆIVALA U KRŠKIM IZVORSKIM VODAMA HRVATSKE

**Jasmina Lukač Reberski, Ana Selak, Josip Terzić,
Ivana Boljat, Marina Filipović**

SAŽETAK: U novije vrijeme sve je veći interes vezan uz prisutnost „novih“ onečišćivala (engl. *emerging contaminants*) u vodnim resursima. Ova onečišćivala odnose se, kako na stare, tako i na novoregistrirane spojeve koji su u vodnom okolišu, osobito podzemnim vodama, uobičajeno prisutni u vrlo niskim koncentracijama, reda veličine ng/L. Zbog tako niskih koncentracija, tek je nedavni tehnološki napredak omogućio jednostavniju detekciju ovih spojeva. Tijekom 2019. godine, na 18 lokacija duž hrvatske krške regije uzorkovane su izvorske vode s ciljem određivanja koncentracije i vrste prisutnih spojeva iz širokog spektra organskih onečišćivala ($n = 740$). Sve lokacije uključene u istraživanje dio su sustava javne vodoopskrbe. Rezultati istraživanja ukazali su na niske koncentracije većine „novih“ onečišćivala u uzorkovanim vodama, što je vjerojatno posljedica kombinacije velikih razrjeđenja i malih opterećenja u sljevovima ovih izvora zbog slabe industrijske i poljoprivredne razvijenosti. Unatoč tome, učestalost i broj detektiranih spojeva usporediv je s drugim krškim i nekrškim vodonosnicima u svijetu, vjerojatno zbog velike propusnosti krških vodonosnika i brze infiltracije, a moguće i zbog nedovoljno učinkovitog upravljanja vodnim resursima i njihovom zaštitom na ovom području. Ovo su prva regionalna istraživanja „novih“ onečišćivala u izvorskim vodama izuzetno okršanih vodonosnika, ne samo u Hrvatskoj, nego i globalno te predstavljaju vrijedan doprinos dosadašnjim spoznajama.

KLJUČNE RIJEČI: „Nova“ onečišćivala, Kvaliteta podzemne vode, Dinarski krš

EMERGING CONTAMINANTS IN KARST SPRING WATER IN CROATIA

ABSTRACT: The presence of emerging contaminants in water resources has been gaining increasing attention. These contaminants include both known and recently registered compounds and are typically found in aquatic environments, particularly groundwater, in very low concentrations (order of magnitude ng/L). Due to such low concentrations, technological advancements have only recently enabled their simpler detection. In 2019, spring water was sampled on 18 locations along the Croatian karst region to identify the concentrations and types of present compounds from a wide spectrum of organic pol-

lutants (n = 740). All locations included in the research are part of the public water supply system. The study's findings revealed very low concentrations of the most emerging contaminants in sampled water, which is probably a consequence of significant dilution effects and low pollution loads due to limited industrial and agricultural development in the respective basins. Despite this, the frequency and number of detected compounds are comparable to those observed in other karst and non-karst aquifers worldwide. This is probably due to the high permeability and rapid infiltration in karst aquifers, or potential failings to efficiently manage and protect water resources in this area. These are the first regional investigations of emerging contaminants in spring waters from highly karstified aquifers, not only in Croatia but also on a global scale, and their findings represent a significant contribution to our current insights.

KEY WORDS: Emerging contaminants, Groundwater quality, Dinaric karst

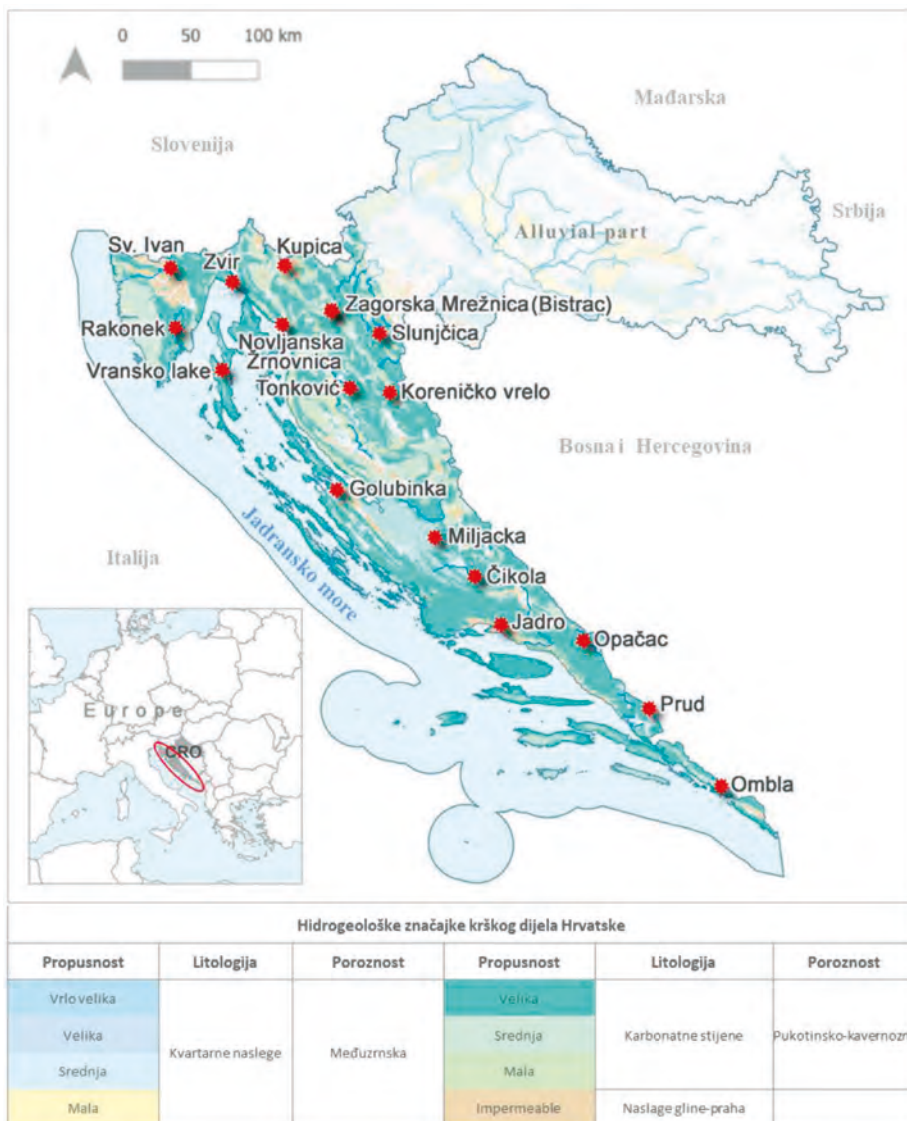
1. UVOD

„Nova“ onečišćivala u posljednje vrijeme sve su interesantnija raznim strukama koje se bave istraživanjima okoliša i povezanih ekosustava, kao i utjecajem ubrzanog tehnološkog razvoja na prirodu te zdravlje ljudi i ostalih živih organizama (Clarke i sur., 2015; Gwenzi i sur., 2018; Lapworth i sur., 2019; Lukač Reberski i sur., 2022., Nadiu i sur., 2016, Petrie i sur., 2015, Selak i sur., 2023). Tehnološki napredak, iako popraćen brojnim dobrobitima, istodobno krije mnoštvo neizvjesnosti i raznih negativnih učinaka. Velik broj spojeva je u svakodnevnoj upotrebi no naše razumijevanje njihovih okolišnih i zdravstvenih posljedica ostaje znatno ograničeno. Još manje se zna o sinergijskom i kumulativnom djelovanju različitih smjesa spojeva. Zbog brojnih nepoznanica, ali i znatno manjih sredstava koji se ulažu u zaštitu i očuvanje okoliša, tehnološki razvoj nadmašuje sveobuhvatno sagledanje i pravovremeno otkrivanje njegovih štetnih posljedica, čineći sanaciju nastale štete izazovnom. Posljedično, značajan niz spojeva ostaje lišen regulatornog nadzora. Suvremeni pomaci u analitičkim metodama omogućili su učestalije provođenje istraživanja tzv. „novih“ onečišćivala, otkrivajući njihovu rasprostranjenost u vodnim resursima i razjašnjavajući njihov negativan utjecaj na okoliš i zdravlje ljudi.

Podzemne vode, koje su vitalan resurs pitke vode, nikada nisu bile izloženije većim pritiscima (Collet i sur., 2015; Lapworth i sur., 2017; Lukač Reberski i sur., 2019; Simonffy, 2012). S jedne strane, izložene su brojnim negativnim utjecajima kao posljedica urbanizma, poljoprivredne i industrijske aktivnosti, a s druge strane učincima klimatskih promjena. Hrvatski krš zauzima približno 50 % površine zemlje, obuhvaćajući cijelo područje južno od Karlovca (Slika 1). Hrvatski krš dio je dinarskog krša, u svijetu poznatog kao „klasični krš“. Njegova glavna značajka je velika okršenost, što uzrokuje brzu infiltraciju oborina i ograničene mogućnosti samopročišćavanja. Posljedično, podzemne vode u ovim terenima vrlo su ranjive i izložene većim rizicima od onečišćenja (Ford and Williams, 2007; Goldscheider and Drew, 2007).

Činjenica da se vodoopskrba u Hrvatskoj gotovo u potpunosti temelji na podzemnoj vodi (90 % prema „Planu upravljanja vodama“) ukazuje na važnost očuvanja ovog vodnog resursa. Kako bi se ustanovile vrste „novih“ onečišćivala i njihove koncentracije u podzemnim vodama Hrvatske, uzorkovane su vode na važnim vodoopskrbnim izvorima diljem krške regije. Ova istraživanja predstavljaju prva regionalna istraživanja „novih“

onečišćivala u Hrvatskoj i globalno, a jedna su od malobrojnih dosadašnjih istraživanja „novih“ onečišćivala u podzemnim vodama međuzrnskih i pukotinskih vodonosnika u svijetu. Dobiveni rezultati značajno doprinose dosadašnjim spoznajama o ovoj temi.



Slika 1. Lokacije uzorkovanja

2. UZORKOVANJE I ANALITIČKE METODE

Podzemne vode uzorkovane su na 18 lokacija (17 izvora i jednom jezeru) hrvatske krške regije koje su dio javne vodoopskrbe. Kako bi se ustanovile razlike između perioda visokih i niskih voda uzorkovanje je provedeno u dvije kampanje, u proljeće (od 19. do

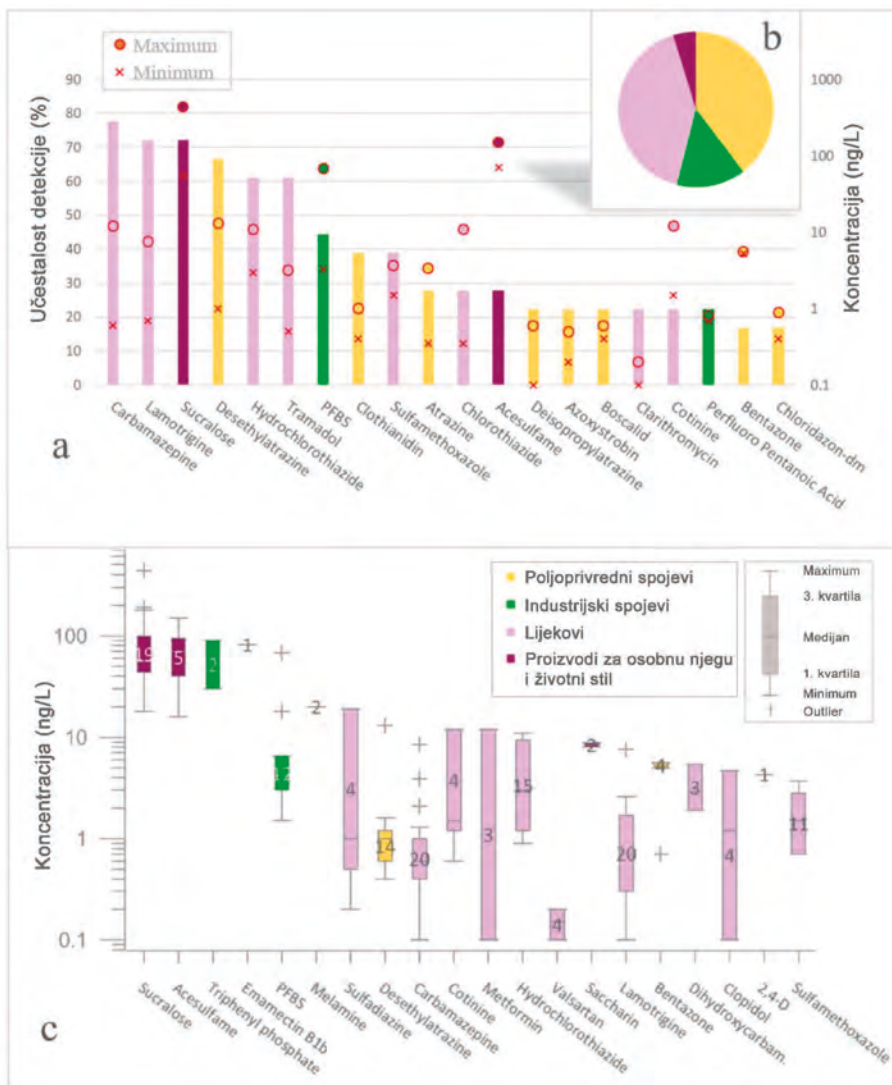
28. ožujka 2019.) i u jesen (od 16. do 21. listopada 2019.). Iako su hidrološki uvjeti tijekom dviju kampanja bili različiti, zbog velike heterogenosti i vrlo brzih reakcija izvora na oborine, ali i klimatološki netipične godine, nisu se uspjeli uhvatiti hidrološki ekstremi. Uzorci su prikupljeni u staklene boce volumena 1 L, koje je osigurao laboratorij smješten u Velikoj Britaniji (National Laboratory Services (NLS UK)). Odmah po prikupljanju, uzorci su odloženi na hladno i unutar 10 dana poslani na analizu. Zbog očekivano vrlo niskih koncentracija analiziranih spojeva, uzorkovanje je provedeno sukladno strogoj proceduri kako bi se spriječila kontaminacija. U svrhu validacije dodatno su uzeti slijepi i prazni uzorci.

Analiza uzorka napravljena je u NLS UK pomoću Agilent 6540 Ultra-High-Definition (UHD) Accurate-Mass Quadrupole Time-of-Flight (Q-TOF) tekućom kromatografijom/masenom spektrometrijom (LC/MS) tvrtke Agilent Technologies, Inc. (Santa Clara, CA, SAD). Detaljan opis analitičkih metoda može se pronaći u White i sur. (2019). Primi- jenjenom analitičke metode (LC-MS/MS, *target and non-target screen*) dobiveni su rezultati za 740 različitih spojeva. Većina detektiranih spojeva smatra se „novim“ organskim onečišćivalima, odnosno onima koji nisu rutinski / globalno regulirani ili nadzirani. Međutim, samo određeni broj analiziranih spojeva, kao što su pojedini pesticidi i industrijski spojevi, u nekim se zemljama prate i reguliraju - što se znatno razlikuje od regije do regije.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Od 740 analiziranih spojeva, u uzorkovanim podzemnim vodama s područja hrvatske krše regije detektirano je 65 različitih spojeva, a ukupan broj detekcija na svim opažanim lokacijama tijekom dviju kampanja bio je 277 (Lukač Reberski i sur., 2023). „Nova“ onečišćivala su detektirana na svim lokacijama (34 od 35 uzoraka). Najčešće otkriveni spojevi pripadali su lijekovima i poljoprivrednim spojevima, s najvišim koncentracijama uočenima u grupi industrijskih spojeva te grupi proizvoda za osobnu njegu i životnog stila (PCP-LS, engl. *personal care product and lifestyle compounds*) (Slika 2). Među 65 detektiranih spojeva, devet ih ujedno ima i najveću koncentraciju i najveću učestalost detekcije, što ukazuje na njihovu rasprostranjenost u hrvatskim krškim podzemnim vodama. Ovi spojevi uključuju acesulfam, sukralozu, per-fluorobutansulfonsku kiselinu (PFBS), karbamazepin, lamotrigin, desetilatrazin, hidroklorotiazid, kotinin i bentazon (Slika 2a i c). Karbamazepin je bio najčešće detektiran spoj u hrvatskom kršu, kao i u ostalim krškim vodonosnicima diljem svijeta. Za razliku od toga, paracetamol, među 20 najčešće detektiranih spojeva u krškim vodonosnicima u svijetu (Lukač Reberski i sur., 2020), u Hrvatskoj je, unatoč širokoj upotrebi, detektiran samo jednom. Razlog tome nije potpuno jasan, stoga je potrebno provesti dodatna istraživanja. Nekoliko detektiranih spojeva imalo je koncentraciju veću ili blizu 100 ng/L, što je trenutna granica za pojedinačne pesticide u pitkim vodama prema EU pravilniku (EU direktiva 2020/2184). Ovi spojevi uključuju acesulfam, sukralozu, PFBS, emamektin B1b i trifenil fosfat (TPPA). Osim trifenil fosfata (TPPA), ti spojevi su vrlo postojani u vodenom okolišu (Belton i sur., 2020; ECHA). TPPA, polimer široke primjene iz skupine usporivača gorenja (Stapleton i sur., 2009.), detektiran je na dva izvora u kontinentalnom dijelu hrvatskog krša (Tonković i Kupica). Otkriven je samo u uzorcima iz ožujka, ali u znatno višim koncentracijama u usporedbi

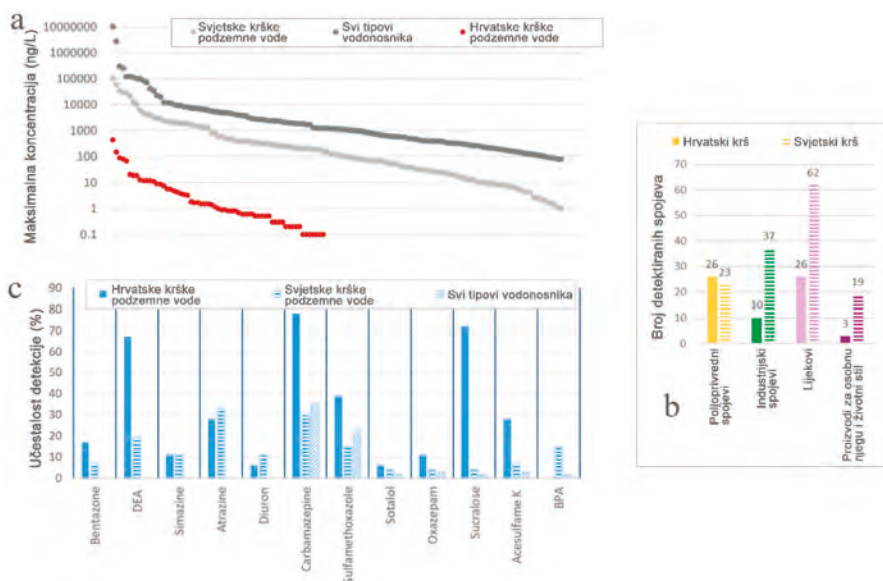
s većinom drugih industrijskih spojeva otkrivenih na drugim uzorkovanim lokacijama. TPPA je podložan biorazgradnji u vodenom okolišu, s vremenom poluraspada od 2 - 4 dana (PubChem, 2022). Također, zbog njihovog potencijala adsorpcije na tlo i sedimente, manje je vjerojatno da će podzemna voda sadržavati fosfatne estere (ATSDR, 2012.). Stoga je njegova prisutnost koristan pokazatelj brze komunikacije od izvora onečišćenja do krškog izvora i kratkog vremena zadržavanja podzemne vode.



Slika 2. „Nova“ onečišćivača u podzemnim vodama hrvatskog krša. a) 20 najučestalije detektiranih spojeva, b) pie dijagram omjera detektiranih spojeva po grupama spojeva, c) Box - Whisker dijagrami 20 spojeva koji su detektirani u najvišim maksimalnim koncentracijama; unutar svakog Box dijagrama nalazi se broj detekcija pojedinog spoja.

Kako bismo bolje razumjeli dobivene rezultate, usporedili smo ih s rezultatima preglednih studija globalnih krških vodonosnika (Lukač Reberski i sur., 2022), koje uključuju široki spektar krških vodonosnika različitih hidrogeoloških značajki, te sa studijama koje uključuju podzemne voda iz različitih tipova vodonosnika (međuzrnski, pukotinski, krški; Lapworth i sur. 2012) (Slika 3). Maksimalne koncentracije spojeva izmjerene u podzemnim vodama hrvatskog krša relativno su niske. Otprilike polovica izmjerenih vrijednosti manja je od 1 ng/L, što je oko dva reda veličine niže nego u podzemnim vodama drugih krških i nekrških vodonosnika (Slika 2a). Tako niske koncentracije vjerojatno su posljedica značajnog razrjeđenja zbog velike izdašnosti većine uzorkovanih izvora. Osim toga, u hrvatskoj krškoj regiji relativno je slaba industrijska i poljoprivredna aktivnost, a najgušće naseljeni dijelovi nalaze se nizvodno od izvora. Posljedično, na promatranim sljevnim područjima manji je broj onečišćivača u odnosu na druge regije.

Unatoč tome, broj detektiranih spojeva iz grupe poljoprivrednih spojeva nešto je veći u podzemnim vodama hrvatskog krša u usporedbi s drugim vodonosnicima. Također, među spojevima koji su detektirani u svim uspoređenim studijama, najveću učestalost detekcije imali su spojevi otkriveni u podzemnim vodama hrvatskog krša. Stoga niže koncentracije detektiranih spojeva nikako ne smiju biti razlog zanemarivanja činjenice da su krški vodonosnici vrlo ranjivi. S obzirom na to da su krški vodonosnici esencijalan resurs pitke vode, nužno je planirati buduća istraživanja s većom učestalošću uzorkovanja u različitim hidrološkim uvjetima te uključiti i manje izvore u istraživanje. „Nova“ onečišćivača, kao i ostala mikronečišćivača, imaju veliki potencijal u određivanju ranjivosti vodonosnika i mogu biti od velike pomoći u učinkovitoj zaštiti podzemne vode. Zbog toga su daljnja istraživanja od iznimne važnosti.



Slika 3. Usporedba „novih“ onečišćivača u hrvatskom kršu s drugim studijama: (a) maksimalne koncentracije različitih detektiranih spojeva poredane od najviše prema najnižoj vrijednosti; (b) broj detektiranih spojeva po različitim grupama spojeva; (c) učestalost detekcije spojeva u podzemnim vodama hrvatskog krša i u drugim studijama.

ZAKLJUČAK

Uzorkovanjem podzemnih voda hrvatskog krša detektirano je 65 različitih onečišćivala, s ukupno 277 detekcija u 35 uzoraka. Pet spojeva je imalo koncentracije blizu ili preko dozvoljenih vrijednosti prema EU standardima. Na većini uzorkovanih lokacija detektirana su onečišćivala iz svih grupa spojeva: lijekova, industrijskih i poljoprivrednih spojeva te spojeva iz produkata za osobnu njegu i životnog stila.

Koncentracije gotovo polovice detektiranih spojeva bile su manje od 1 ng/L i oko dva reda veličine su niže od onih ustanovljenih u ostalim krškim i nekrškim vodonosnicima. Međutim, učestalost detekcije pojedinih spojeva, kao i broj poljoprivrednih spojeva je viši u odnosu na druge vodonosnike, potvrđujući poznatu tvrdnju o ranjivosti okršanih vodonosnika poput ovih u Hrvatskoj.

Zbog brojnih negativnih pritisaka na okoliš, suvremeno upravljanje vodnim resursima i osiguranje dovoljne količine pitke vode za buduće generacije jedan je od najvećih predstojećih izazova. Rezultati provedenih istraživanja naglašavaju potrebu za daljnjim istraživanjem „novih“ onečišćivala kako bi se stekli sveobuhvatniji uvidi i ustanovile mogućnosti njihovog korištenja u učinkovitom upravljanju i zaštiti ovog vitalnog resursa pitke vode.

LITERATURA

- [1] ATSDR (2015): *Toxicological profile for phosphate ester flame retardants*. 2012 Updated Jan 21, Dostupno na: www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/TP.asp?id=1119&tid=239 (citirano 01.09.2023.)
- [2] Belton, K., Schaefer, E., Guiney, P.D. (2020): *A Review of the environmental fate and effects of acesulfame potassium (ACE-K)*. Integr. Environ. Assess. Manag. 16/4, 421 - 437.
- [3] Belton, K., Schaefer, E., Guiney, P.D. (2020): *A Review of the environmental fate and effects of acesulfame potassium (ACE-K)*, Integr. Environ. Assess. Manag., 16/4, 421 - 437.
- [4] Collet, L., Ruelland, D., Estupina, Valerie.B., Dezetter, A., Servat, E. (2015): *Water supply sustainability and adaptation strategies under anthropogenic and climatic changes of a meso-scale Mediterranean catchment*, Sci. Total Environ, 536, 589 - 602.
- [5] Clarke, R. M., Cummins, E. (2015). *Evaluation of "Classic" and Emerging Contaminants Resulting from the Application of Biosolids to Agricultural Lands: A Review*, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 21/2, 492 - 513.
- [6] ECHA (2019): *Support document for identification of perfluorobutane sulfonic acid and its salts*, <https://echa.europa.eu/documents/10162/891ab33d-d263-cc4b-0f2d-d84cfb7f424a>, C&L Inventory, Dostupno na: <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/cl-inventorydatabase> (citirano 01.09.2023.)
- [7] EU Direktiva 2020/2184 Europskog parlamenta i Vijeća od 16. prosinca 2020. o kakvoći vode namijenjene za ljudsku potrošnju (izmjene).

- [8] Ford, D.C., Williams, P.W. (2007): *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, Wiley, Chichester.
- [9] Goldscheider, N., Drew, D. (2007): *Methods in Karst Hydrogeology*, Taylor and Francis Group, Leiden, Netherlands, 264.
- [10] Gwenzi, W., Mangori, L., Danha, C., Chaukura, N., Dunjana, N., Sanganyado, E. (2018): *Sources, behaviour, and environmental and human health risks of high-technology rare earth elements as emerging contaminants*, Science of The Total Environment, 636, 299 - 313.
- [11] Lapworth, D.J., Nkhuwa, D.C.W., Okotto-Okotto, J., Pedley, S., Stuart, M.E., Tijani, M.N. Wright, J.J.H.J. (2017): *Urban groundwater quality in sub-Saharan Africa: current status and implications for water security and public health*. Hydrogeology Journal, 25/4, 1093 - 1116.
- [12] Lukač Reberski, J., Selak, A., Lapworth, D. J., Maurice, L. D., Terzić, J., Civil, W., Stroj, A. (2023): *Emerging organic contaminants in springs of the highly karstified Dinaric region*, Journal of Hydrology, 621/129583.
- [13] Lukač Reberski, J., Terzić, J., Maurice, L.D., Lapworth, D.J. (2022): *Emerging organic contaminants in karst groundwater: a global level assessment*, J. Hydrol, 604/127242.
- [14] Lukač Reberski, J., Rubinić, J., Terzić, J., Radišić, M. (2019): *Climate change impacts on groundwater resources in the coastal karstic adriatic area: A case study from the dinaric karst*, Nat. Resour. Res, 29/3, 1975 - 1988.
- [15] Naidu, R., Arias Espana, V.A., Liu, Y., Jit, J. (2016): *Emerging contaminants in the environment: Risk-based analysis for better management*, Chemosphere, 154, 350 - 357.
- [16] Petrie, B., Barden, R., Kasprzyk-Hordern, B. (2015): *A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring*, Water Res. 72, 3 - 27..
- [17] PubChem [Internet]. Bethesda (MD): National Library of Medicine (US), National Center for Biotechnology Information. PubChem compound summary for CID 8289, Triphenyl phosphate, Dostupno na: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Triphenyl-phosphate> (citirano 03.09.2023.)
- [18] Selak, A., Lukač Reberski, J., Klobučar, G. (2023): *Assessing the persistence, mobility and toxicity of emerging organic contaminants in Croatian karst springs used for drinking water supply*, Science of the total environment, 903/166240, 15.
- [19] Stapleton, H. M., Klosterhaus, S., Eagle, S., Fuh, J., Meeker, J. D., Blum, A., Webster, T. F. (2009): *Detection of Organophosphate Flame Retardants in Furniture Foam and U.S. House Dust*. Environmental Science & Technology, 43/19, 7490 - 7495.
- [20] White, D., Lapworth, D.J., Civil, W., Williams, P. (2019): *Tracking changes in the occurrence and source of pharmaceuticals within the River Thames, UK; from source to sea*, Environ. Pollut., 249, 257 - 266.

AUTORI

dr. sc. Jasmina Lukač Reberski ^a

Ana Selak mag., ing. geol., mag. ing. prosp. arch. ^a

dr. sc. Josip Terzić ^a

Ivana Boljat, dipl. ing. geol.

dr. sc. Marina Filipović ^a

^a Hrvatski geološki institut, Milana Sachsa 2, Zagreb 10000, Hrvatska,
jlukac@hgi-cgs.hr; jterzic@hgi-cgs.hr; aselak@hgi-cgs.hr; iboljat@hgi-cgs.hr



R 1.28.

IZVOR VELA FONTANA NA KRKU - POVEZANOST KVALITETE VODE I KLIMATOLOŠKIH UVJETA

**Vanda Piškur, Majda Meden, Silvio Giorgolo, Sanja Živković,
Arijana Cenov, Darija Vukić Lušić**

SAŽETAK: Za potrebe vodoopskrbnog sustava na otoku Krku (zona opskrbe - ZO Ponikve) koristi se voda izvorišta Vela Fontana. Izgradnjom brane 1985. godine formirana je stalna akumulacija u svrhu podizanja razine podzemne vode i povećanja izdašnosti izvora Vela Fontana, zahvaćenog za vodoopskrbu još 1967. godine. U radu je ispitana kvaliteta vode izvora Vela Fontana (fizikalni, kemijski i mikrobiološki pokazatelji) u razdoblju od 2017. - 2022. godine. Jače oborine prati rast mutnoće, što je posebno izraženo nakon razdoblja dugotrajnih suša. U ljetnom razdoblju, kada temperature vode izvora počinju rasti, utvrđene su koncentracije mangana koje prelaze propisane MDK vrijednosti. Povećane vrijednosti mangana zadržavaju se do rane jeseni. Povišenje temperature zraka i vode u ljetnim mjesecima praćeno je povećanjem mikrobiološkog opterećenja. Idejni projekt II. faze uređenja podsustava Ponikve planira nadvišenje postojeće brane – povećanje volumena akumulacije s današnjih 2 na 7 milijuna m³ te postupno povećanje kapaciteta izvorišta s 200 l/s na 500 l/s.

KLJUČNE RIJEČI: Akumulacija Ponikve, Izvor Vela Fontana, Temperatura vode, Količina oborina, Kemijski i mikrobiološki pokazatelji ispitivanja

THE VELA FOUNTAIN ON KRK'S SOURCE: THE RELATIONSHIP BETWEEN WATER QUALITY AND CLIMATE CONDITIONS

ABSTRACT: For the needs of the water supply system on the island of Krk (supply zone - ZO Ponikve), water from the Vela Fontana spring is used. With the construction of the dam in 1985, a permanent reservoir was created to raise the underground water level and increase the yield of the Vela Fontana spring, which was developed for water supply in 1967. In the work, the water quality of the Vela Fontana spring (physical, chemical and microbiological indicators) was studied in the period from 2017 to 2022. Heavier rainfall is accompanied by an increase in turbidity, which is particularly pronounced after prolonged periods of drought. In summer, when water temperatures begin to rise in spring, manganese concentrations have been found to exceed the prescribed maximum allowable concentrations (MAC) values. Elevated manganese levels persist until early autumn. The increase in air and water temperature in the summer months is accompanied

by an increase in microbiological pollution. The conceptual project of the II phase of the development of the Ponikva subsystem predicts raising the existing dam - increasing the volume of the reservoir from 2 million m³ today to 7 million m³ and gradually increasing the capacity of the spring from 200 l/s to 500 l/s.

KEYWORDS: Ponikve reservoir, Vela Fontana spring, Water temperature, Rainfall, Chemical and microbiological test indicators

1. UVOD

Razvoj ljudskih zajednica ovisi o opskrbi dovoljnim količinama zdravstveno ispravne vode za piće. Pritisak na vodne resurse svakim danom je sve naglašeniji zbog utjecaja klimatskih promjena (EPA, 2022), uslijed kojih se s jedne strane potražnja za vodom povećava, dok se s druge strane dostupni resursi vode smanjuju. Prema tome, jedan od najvećih izazova za javne isporučitelje vodnih usluga je održavanje osjetljive ravnoteže između ljudskih potreba i raspoloživih resursa. Potrebno je istovremeno zadovoljiti potrebe rastućeg broja stanovnika kao i očuvati kvalitetu vodnih resursa. Prema podacima Europske agencije za okoliš (engl. European Environment Agency, EEA), svake je godine nedostatkom vode pogođeno oko 20 % europskog teritorija i 30 % europskog stanovništva, pri čemu su sezonski problemi s opskrbom vode sve izraženiji. Voda je već na samom izvorištu moguće opterećena različitim kemijskim ili mikrobiološkim kontaminantima, a u priobalnim krajevima sve češće dolazi do zaslanjivanja izvorišta (EPA, 2022).

Vodoopskrbni sustav otoka Krka razvija se u fazama, u skladu s mogućnostima i potrebama stanovništva. Glavno izvorište otoka Krka Ponikve razvijalo se od povremene prirodne retencije i kaptaze izvora do stalne akumulacije s potrebnom infrastrukturom, koja je omogućavala pohranu vode za sušno razdoblje, kada su potrebe za vodom i najveće. Uvala Ponikve krška je dolina unutar karbonatnih stijena u kojoj je prvi kaptirani izvor bila Mala Fontana 1938. godine. Crpna stanica s cjevovodima i rezervoarima puštena je u pogon 1948. godine, 1961. godine priključeni su bunari Vela Fontana i Škrili, a 1967. godine galerijski zahvat Vela Fontana. Godine 1986. se izgradnjom brane na mjestu plitkog povremenog jezera odvojila ponorna zona od manje propusnog dijela uvale te je nastala akumulacija Ponikve (I. faza). Volumen akumulacija pri današnjoj koti preljeva od 19,14 m n.m iznosi oko 1.950.000 m³, a površina oko 0,75 km² (slika 1a).

Akumulacija ima malu dubinu, kada je puna srednja dubina vode iznosi oko 3 m, a najveća dubina u neposrednoj blizini brane iznosi 6 m. Akumulacija se puni oborinama iz slivnog područja, čija se veličina procjenjuje na oko 34 km². Za vrijeme kišnih razdoblja razina vode može biti i do 2 m viša od tzv. krune brane, što ukazuje na to da je tada dotok vode puno veći od kapaciteta ponora (Hidroinženjering, 2011). Voda se za potrebe vodoopskrbnog sustava ZO Ponikve crpi iz podzemnog vodozahvata Vela Fontana, smještenog u neposrednoj blizini akumulacije. Podzemni vodozahvat Vela Fontana izgrađen je prije izgradnje same akumulacije, sa svrhom povećanja izdašnosti ovog vodozahvata, odnosno neposrednog prihranjivanja okolnog podzemlja, što je posebno važno u sušnom razdoblju kada dolazi do znatnog smanjenja dotoka podzemne vode. Izvor Vela Fontana predstavlja najvažnije izvorište vode na otoku Krku (Ponikve Krk 2021).

Izgradnja akumulacije Ponikve predviđena je u dvije faze. Nakon izgradnje I. faze istraživanja su se usmjerila na definiranje količine vode te očuvanje kvalitete. Podaci su pokazali da u uvali Ponikve ima znatno više vode od količina koje se danas zahvaćaju te da je potrebno zaštititi cijelo slivno područje. Za utvrđivanje s kojim se dodatnim količinama vode raspolaže za II. fazu, bilo je potrebno utvrditi viškove odnosno manjkove koji su se javljali u razdoblju promatranja od 1987. do 2004. godine. Pri tome su za analizu korišteni dnevni podaci mjerenja razina vode u akumulaciji. Proračunom je utvrđeno da bi optimalna veličina akumulacije koja bi osigurala dodatne količine vode iznosila 7.000.000 m³ korisnog prostora. Za ovu veličinu akumulacije potrebno je predvidjeti nadvišenje praga preljeva s kote 19,14 m n.m. na kotu 24,00 m n.m. (Hidroinženjering 2011).

Novo postrojenje crpne stanice Ponikve izgrađeno 2005. godine, smješteno u samoj blizini vodozahvata Vela Fontana, služi za opskrbu vodom većeg dijela otoka Krka (slika 1b). Sastoji se od vodospreme volumena 4.000 m³, strojarnice, prostorije za elektroopremu, daljinski nadzor i upravljanje te prostorije za dezinfekciju vode UV uređajima i klor dioksidom. Na izvorištu Vela Fontana (vodozahvat) provodi se aeriranje vode, nakon čega slijede procesi obrade vode uređajem koji se sastoji od četiri povezana filtera pod tlakom, kapaciteta 200 l/s. Filteri se sastoje od više slojeva, a to su: hidroantracit, kvarcni pijesak i aktivni ugljen, nakon kojih slijedi dezinfekcija vode, prvo UV zračenjem, a zatim klor dioksidom prije puštanja vode u vodoopskrbnu mrežu (Ponikve Krk 2021).



Slika 1a) Akumulacija Ponikve, 1b) Crpna stanica Ponikve (izvor: Ponikve voda d.o.o.)

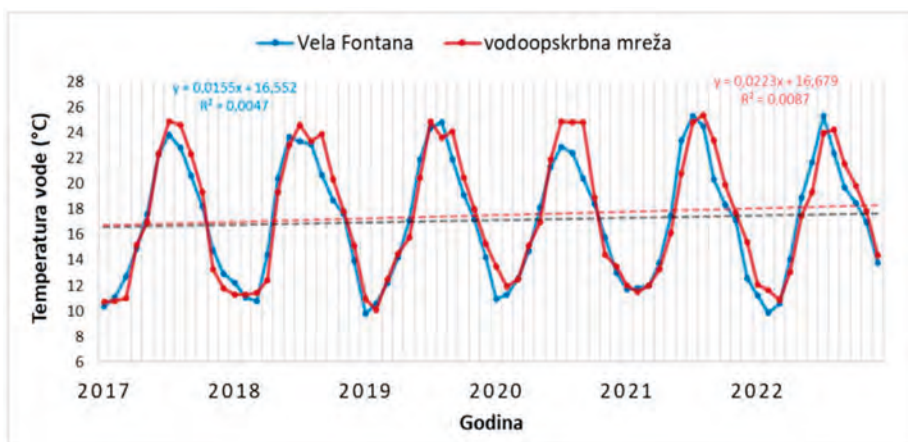
2. MATERIJAL I METODE

Uzorcima vode izvorišta Vela Fontana uzimani su u razdoblju od 2017. do 2022. godine. U uzorcima vode ispitani su slijedeći kemijski i mikrobiološki pokazatelji zdravstvene ispravnosti: mutnoća, ukupni organski ugljik, amonij, nitrati, mangan i ukupne koliformne bakterije, enterokoki, *E. coli*, *C. perfringens* te ukupan broj bakterija (UBB) na 36 °C i 22 °C. Dobiveni rezultati uspoređeni su s podacima temperature vode izmjerene tijekom samog uzorkovanja i klimatološkim podacima temperature vode i količine oborina s postaje Ponikva. Uzorcima vode ispitani su u internom laboratoriju komunalnog društva Ponikva d.o.o. i u laboratorijima Nastavnog Zavoda za javno zdravstvo Primorsko - goranske županije. Metode analiza koje su upotrebljavane za praćenje i dokazivanje usklađenosti s vrijednostima parametara iz aktualne zakonske regulative, su standardne važeće HRN EN ISO norme ili druge jednakovrijedne međunarodno prihvaćene norme.

Rezultati su prikazani uz pomoć deskriptivne statistike: aritmetičkom sredinom i rasponom podataka (minimum i maksimum). Za određivanje korelacije između praćenih pokazatelja i klimatoloških podataka primijenjena je Spearmanova korelacijska analiza.

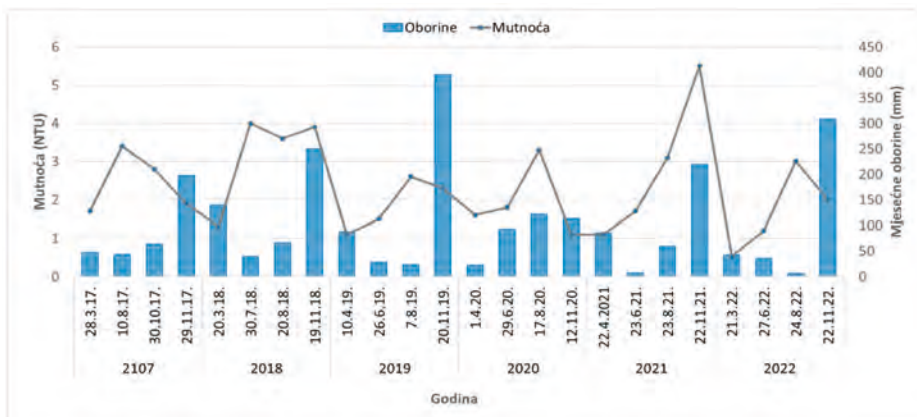
3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati mjerenja temperature vode izvora Vela Fontana kretali su se u rasponu vrijednosti od 9,8 °C, što je minimalna izmjerena vrijednost, do 25,3 °C, što je maksimalno izmjerena vrijednost u vremenskom razdoblju od 2017. do 2022. godine. Temperature vode u vodoopskrbnoj mreži prate temperaturu vode u izvoru ali su ipak neznatno više, što je vidljivo na slici 2. Temperature su prikazane kao srednje vrijednosti mjesečnih temperatura izvora Vela Fontana, dok su na vodoopskrbnoj mreži prikazane srednje mjesečne vrijednosti temperatura, ali svih mjesta uzorkovanja koja pripadaju vodoopskrbnoj zoni Ponikve koja se opskrbljuje vodom izvora Vela Fontana. U vodoopskrbnoj mreži minimalna izmjerena temperatura iznosila je 10,1 °C, dok je maksimalna mjerena temperatura bila 25,4 °C. Tijekom promatranog razdoblja uočen je pozitivan trend vrijednosti temperature vode izvorišta Vela Fontana, kao i vode u sustavu javne vodoopskrbe.



Slika 2. Temperature vode izvora Vela Fontana i vodoopskrbnoj mreži ZO Ponikve u razdoblju od 2017. do 2022. godine

Obilne kiše i brzi prodor vode kroz krške vodonosnike nerijetko dovode do povišenja mutnoće krških izvorišta te mogućeg popratnog mikrobiološkog onečišćenja (Biondić, et al., 2016), što je posebno izraženo nakon dužeg sušnog razdoblja. Kao posljedica zagrijavanja površine vode te pojačanog ispiranja sliva tijekom jakih kiša, javlja se zakiseljavanje i deoksigenacija slatkovodnih ekosustava, uz pojave visokih vrijednosti mutnoće vode (Dorner, Anderson et al. 2007). Mutnoću vode čine suspendirane čestice koje mogu potjecati iz samog izvora ili se mobilizirati resuspenzijom taloga pri povećanju brzine toka vode u razvodnoj mreži (Marinović and Petrović 2019). Mutnoća vode izvora Vela Fontana praćena je četiri puta godišnje, u proljetnom, ljetnom i jesenskom razdoblju (slika 3). Najviše vrijednosti mutnoće zabilježene su 2018. godine s maksimumom u 2021. godini (5,5 NTU).



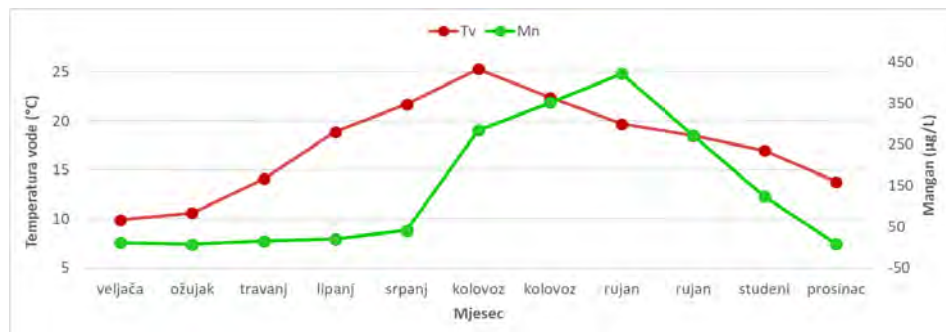
Slika 3. Mutnoća vode u odnosu na količinu oborina, u razdoblju od 2017. do 2022. godine u vodi izvora Vela Fontana

Nitrati su pokazatelji ispiranja hranjiva s poljoprivrednih površina, a mogu štetno utjecati na ljudsko zdravlje. Razgradnja organske tvari uz prisutnost kisika ide od amonijaka preko nitrita do nitrata, postupkom nitrifikacije. U podzemnim vodama i vodovodnim sustavima u kojima prevladavaju oksidni uvjeti nitrat (NO_3^-) je stabilni oblik dušika, dok je nitrit (NO_2^-) relativno nestabilan (Nolan and Stoner 2000). Amonij nastaje razgradnjom organske tvari u dijelovima vodonosnika u kojima prevladavaju reduktivni uvjeti. Minimalno izmjerena vrijednost u razdoblju ispitivanja je iznosila $0,062 \text{ mg/l NO}_3^-$, a maksimalna $2,2 \text{ mg/l NO}_3^-$ (slika 4a). Korelacijskom analizom utvrđena je visoka pozitivna korelacija između koncentracije nitrata i oborina ($r_s = 0,54$; $p < 0,05$). Dobiveni podaci ukazuju na opasnost povećanja koncentracije nitrata u izvoru Vela Fontana u kišnim razdobljima, u slučaju intenzivnije poljoprivrede, obrade zemlje ili uzgoja stoke. Na slici 4b prikazane su vrijednosti amonija u vodi izvora Vela Fontana. Maksimalno izmjerena vrijednost iznosila je $0,028 \text{ mg/l}$. U ljetnim razdobljima, kada temperatura vode počne rasti, dolazi do povećanja koncentracija amonija.



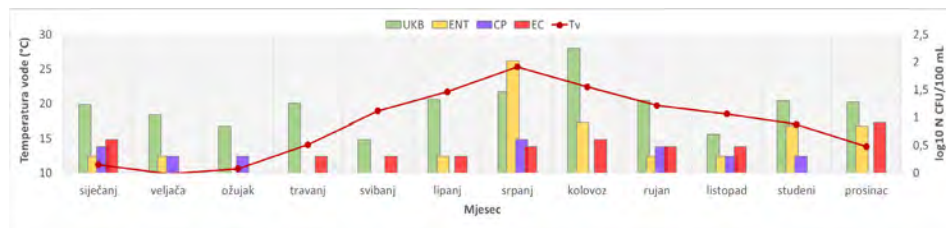
Slika 4. Izvor Vela Fontana u razdoblju od 2017. do 2022. godine a) nitrati u odnosu na količinu oborina b) amonij u odnosu na temperaturu vode

Voda izvora Vela Fontana prirodno ima povišene koncentracije mangana. Koncentracije mangana u vodi izvora Vela Fontana variraju ovisno o razini podzemne vode, intenzitetu crpljenja i utjecaju površinske vode akumulacije Ponikve. Mangan je mineral koji se prirodno nalazi u okolišu i jedan je od najzastupljenijih metala na zemljinoj površini, u zraku, vodi i tlu. Uglavnom se u većim koncentracijama javlja u podzemnim vodama u odnosu na površinske. Dominantni put izloženosti je ingestija vode. Iako je mangan u malim koncentracijama esencijalni nutrijent, povećane razine mogu izazvati zdravstvene probleme, što ovisi o putu izloženosti, kemijskom obliku mangana te dobi i nutritivnom statusu osobe (WHO, 2004). U razdoblju od 2017. do 2022. godine koncentracije mangana ispitivane su svaki mjesec u laboratoriju komunalnog društva Ponikve d.o.o., a u laboratoriju NZZJZ PGŽ jednom godišnje. Na slici 5 prikazane su vrijednosti mangana s obzirom na vrijednosti temperature tijekom 2022. godine. U pet ispitivanja dokazano je prekoračenje MDK vrijednosti od 50 $\mu\text{g/l}$. Vrijednosti mangana su povećane u razdoblju od lipnja do studenog. Najviše su u ljetnom i rano jesenskom razdoblju kada pada razina podzemne vode, odnosno akumulacije Ponikve, koja prihranjuje vodu izvora Vela Fontana. Analiza korelacije između temperature vode i vrijednosti mangana pokazala je visoku pozitivnu korelaciju ($r_s = 0,82$; $p < 0,05$).



Slika 5. Mangan u odnosu na temperaturu vode u 2022. godini u vodi izvora Vela Fontana

Slika 6 prikazuje kretanje mikrobiološkog onečišćenja u vodi izvora Vela Fontana tijekom 2022. godine. Povećanje temperature prati povećanje mikrobiološkog opterećenja. Koeficijent korelacije ukazuje na visoku pozitivnu korelaciju između vrijednosti temperature vode i ukupnih koliformnih bakterija ($r_s = 0,61$; $p < 0,05$). Dokaz indikatorskih bakterija u vodi rezultat je onečišćenja vode fekalijama ljudskog ili životinjskog podrijetla te ukazuje na moguće prisustvo patogenih mikroorganizama. S indikatorskim bakterijama fekalnog onečišćenja u vode mogu dospjeti i patogene bakterije, virusi i paraziti, koji predstavljaju opasnost za ljudsko zdravlje (WHO, 2017). U cilju kontrole pojave patogena u vodi za piće najčešće mjere su zaštita izvorišta od onečišćenja humanom i animalnom otpadnom tvari, provedba adekvatne dezinfekcije vode te zaštita vode u distribucijskoj mreži.



Slika 6. Voda izvora Vela Fontana - indikatori fekalnog onečišćenja [ukupne koliformne bakterije (UKB), enterokoki (ENT), E. coli (EC), C. perfringens (CP)] u odnosu na temperaturu vode tijekom 2022. godine

ZAKLJUČAK

- Ministarstvo zdravstva izdalo je odobrenje vodoopskrbnom sustavu Ponikve za odstupanje od propisane vrijednosti temperature vode od 25 °C, do maksimalno 28 °C (u šestogodišnjem razdoblju prekoračenje MDK od 25 °C zabilježeno je 46 puta).
- Tijekom promatranog razdoblja uočen je pozitivan trend vrijednosti temperature vode izvorišta Vela Fontana, kao i vode u sustavu javne vodoopskrbe.

- Povećanje temperature vode izvora prati rast mutnoće, a vrijednosti koje prelaze MDK (4 NTU) javljaju se nakon većih oborina, što je posebno izraženo nakon razdoblja dugotrajnih suša.
- Od ljetnog razdoblja do rane jeseni, rastom temperature koncentracije mangana prelaze propisane MDK vrijednosti.
- Porastom temperature vode, koncentracija kisika u vodi pada, a povećava se koncentracija amonijaka.
- Povećane količine oborina utječu na povećanje koncentracija nitrata.
- Povišenje temperature zraka i vode (ljetni mjeseci) praćeno je povećanjem mikrobiološkog opterećenja.

Idejni projekt II. faze uređenja podsustava Ponikve planira nadvišenje postojeće brane - povećanje volumena akumulacije s današnjih 2 na 7 miliona m³ te postupno povećanje kapaciteta izvorišta s 200 l/s na 500 l/s.

LITERATURA

- [1] Biondić, R., Rubinić, J., Biondić, B., Meaški, H., and Radišić, M., (2016): *Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području krša u Hrvatskoj*. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet i Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet. Varaždin.
- [2] Dorner, S. M., Anderson, W. B., Gaulin, T., Candon, H. L., Slawson, R. M., Payment P. and Huck, P. M., (2007): *Pathogen and indicator variability in a heavily impacted watershed*. J Water Health 5(2): 241-257.
- [3] European Environment Agency (EEA), (2022): *Climate Impacts on Water Resources*. Retrieved 10.10.2023., from https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-impacts/climate-impacts-water-resources_.html.
- [4] European Environment Agency (EEA), (2021): *Water resources across Europe - confronting water stress: an updated assessment*. EEA Report No 12/2021. Publications Office of the European Union, 2021. Retrieved 01.08.2023., from <https://www.eea.europa.eu/publications/water-resources-across-europe-confronting>.
- [5] Marinović, V. and Petrović, B., (2019): *Turbidity dynamics in karst hydrogeological systems. Example of three karst springs from Serbia*. 46th IAH Congress 2019 groundwater management and governance - coping with water scarcity.
- [6] Nolan, B. and Stoner J., (2000): *Nutrients in groundwaters of the conterminous United States, 1992-1995*. Environ. Sci. Technol. 34: 1156-1165.
- [7] World Health Organization (WHO), (2017): *Guidelines for drinking - water quality: fourth edition incorporating the first addendum*. World Health Organization. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO." Retrieved 15.08.2023., from <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>
- [8] World Health Organization (WHO), (2004): *Manganese in Drinking - water*. Retrieved 01.09.2023., from <https://www.healthlinkbc.ca/healthlinkbc-files/manganese-drinking-water.1>

AUTORI

mr. sc. Vanda Piškur, dipl. sanit. ing. ^a

Majda Meden ^b

Silvio Giorgolo, ing. el. ^b

mr. sc. Sanja Živković, dipl. sanit. ing. ^a

naslovni doc.dr.sc. Arijana Cenov, dipl. sanit. ing. ^{a,c}

izv. prof.dr.sc. Darija Vukić Lušić, dipl. sanit. ing. ^{a,c}

^a Nastavni zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije, Krešimirova 52 a, 51000 Rijeka, Hrvatska, vanda.piskur@zzjzpgz.hr, sanja.zivkovic@zzjzpgz.hr

^b Ponikve voda d.o.o. Vršanska 54, Krk, Hrvatska, majda.meden@ponikve.hr, silvio.giorgolo@ponikve.hr

^c Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Braće Branchetta 20, 51000 Rijeka, Hrvatska, darija.vukic.lusic@medri.uniri.hr, arijana.cenov@medri.uniri.hr



R 1.29.

HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA NA OTOKU VISU TIJEKOM VREMENA - REZULTATI I PREPORUKE

**Staša Borović, Josip Terzić, Matko Patekar, Marco Pola, Tihomir Frangen,
Jasmina Lukač Reberski, Ivan Kosović, Maja Briški, Mihaela Bašić**

SAŽETAK: Vis je jedan od rijetkih hrvatskih otoka koji javnu vodoopskrbu osigurava isključivo iz vlastitog vodonosnika iz šest bušenih zdenaca i kaptiranog izvora. Infiltracija, nakupljanje i istjecanje podzemnih voda odvijaju se u okršenoj stijenskoj masi, a hidrogeološki odnosi uvjetovani su geološkom građom terena. Najvažniji je utjecaj dviju hidrogeoloških barijera - vulkanogeno - sedimentno - evaporitnog kompleksa zapadno od vodonosnika i krških polja južno od njega. Rad daje pregled hidrogeoloških i srodnih istraživanja na Visu tijekom povijesti. Prikazat će se geološka istraživanja, kao najvažnija podloga, te hidrogeološka istraživanja različitim metodama: kartiranja u različitim mjerilima, strukturnogeološke analize, izračuni hidrauličkih parametara vodonosnika, trasiranje podzemnih tokova, hidrokemijska istraživanja i analize trendova, razina, temperatura i elektrolitičke vodljivosti podzemne vode. U nepovoljnom klimatskom scenariju vjerojatno bi se na otoku moralo povećati crpne količine i dodatno snižavati razine podzemne vode na vodocrpilištima, izraditi dodatne zdence izvan područja utjecaja postojećih crpilišta, desalinizirati blago bočatu vodu, razmotriti mogućnosti umjetnog napajanja vodonosnika te izraditi pričuvni zdenac i uspostaviti sustav ranog upozoravanja i intervencije. Svaka opcija zahtijeva hidrogeološka istraživanja uz primjenu suvremenih metoda. Iako je s hidrogeološkog aspekta Vis najistraživaniji otok u Hrvatskoj (pogotovo 1950. - 1990. zbog boravka mornarice tadašnje države), postoji potreba za dodatnim istraživanjima, prvenstveno novim pristupima, opremom i metodama kojima prethodni istraživači nisu raspolagali.

KLJUČNE RIJEČI: Hidrogeologija, Otočki krški vodonosnik, Odnos slatke i slane vode, Budućnost vodoopskrbe

HYDROGEOLOGICAL RESEARCH ON THE ISLAND OF VIS OVER TIME - RESULTS AND RECOMMENDATIONS

ABSTRACT: The island of Vis is one of the few Croatian islands that provide public water supply exclusively from its own aquifer. The water supply facilities include six drilled wells and one spring. Groundwater infiltration, accumulation and outflow occur in karstified rock mass, with hydrogeological relations affected by the geological structures,

the most important of which are two hydrogeological barriers - the volcanogenic - sedimentary - evaporitic complex west of the aquifer and the karst fields to the south of it. The paper presents an overview of the hydrogeological and related research on the island of Vis throughout history. The geological research, as the most important foundation, and hydrogeological research will be presented using different methods: mapping in different scales, structural geologic analyses, calculations of the aquifer's hydraulic parameters, tracing of underground flows, hydrochemical research, and analyses of groundwater trends, levels, temperatures, and electrolytic conductivity. In an unfavourable climate scenario, it would be probably necessary to increase the pumping quantities and further lower the groundwater levels at the water abstraction sites, build additional wells outside the immediate impact area of the current abstraction sites, desalinate slightly brackish water, consider the possibilities of managed aquifer recharge, install at least one backup well and establish the early warning and intervention system on the island. Each option requires detailed, site-specific hydrogeological investigations using contemporary methods. Although, from a hydrogeological viewpoint, the island of Vis is the most investigated island in Croatia (especially in the 1950s - 1980s, due to the navy being stationed there at the time), there is a need for additional research, primarily using novel approaches, equipment, and methods that previous researchers did not have at their disposal.

KEYWORDS: Hydrogeology, Karst island aquifer, Freshwater / seawater relation, Future water supply

1. UVOD

Otok Vis deveti je po veličini jadranski otok, s površinom oko 89,7 km² (Duplancić Leder i drugi, 2004) i dužinom obale 84,9 km. Reljefni oblici, osim rijetkih izuzetaka, protežu se u smjeru istok-zapad, što je u vezi s pružanjem glavnih rasjeda i geoloških struktura. Reljef Visa moguće je po duljini otoka raščlaniti na tri brdovita lanca između kojih se protežu dvije udoline. Sjeverna udolina relativno je uska i u njoj je smješteno vodocrpilište "Korita" sa svim svojim zdencima. Južna udolina je mnogo šira od sjeverne i u njoj su se razvila krška polja. Bušenjem je ustanovljena debljina kvartarnog nanosa u sjeverozapadnom dijelu Velog polja (bušotina VP-1) od čak 45 m (Crnolatac, 1953). Najviši vrh otoka jest Hum (587 m n.m.) na zapadnoj strani otoka.

Vis je krški otok koji vodoopskrbu u cijelosti zadovoljava iz vlastitog krškog vodonosnika, pa stoga predstavlja zanimljivu hidrogeološku cjelinu za istraživanja odnosa slatke i slane vode u krškom podzemlju. Osim okršenosti interesantna je i litološka te strukturnogeološka uvjetovanost odnosa slatke i slane vode u podzemlju. Izražena je sezonalnost u vodoopskrbi Visa, pa je tijekom ljetnih mjeseci napajanje vodonosnika zanemarivo, a potrebe za vodom višestruko povećane zbog turizma i poljoprivrede. Nepovoljni hidrološki uvjeti i utjecaj klimatskih promjena mogu dovesti u opasnost zadovoljavanje potreba otoka za pitkom vodom u budućnosti. Stoga su u ovom radu prikazana dosadašnja hidrogeološka i srodna istraživanja na otoku, novija istraživanja koja razmatraju mogućnost prevladavanja nepovoljnih klimatskih trendova i eventualno povećane potražnje za vodom te je dan osvrt na ograničenost otočkog vodonosnika. Klima otoka, kao i moguć utjecaj klimatskih promjena, posebno su obrađeni (Bonacci i drugi, 2020). U ovom je radu dan osvrt utjecaja klimatskih promjena na vodnu bilancu i mogućnosti koje imaju vodovod,

ali i istraživači, te u konačnici korisnici, za smanjivanje utjecaja negativnih klimatskih trendova. Budući da je ovaj rad ujedno i pregled prethodnih istraživanja na otoku Visu, u posebnom su poglavlju prikazani glavni istraživački prinosi kroz vrijeme.

2. PREGLED ISTRAŽIVANJA VIŠKOG VODONOSNIKA

Izravnom istraživanju podzemnih voda otoka Visa prethodila su geološka istraživanja, neophodna podloga za sva hidrogeološka razmatranja. Ona se nastavljaju do najnovijih vremena, a ozbiljniji hidrogeološki istraživački radovi kreću tek 1950-ih godina, kada je mornarica tadašnje vojske ozbiljno financirala istraživanja sa ciljem vodoopskrbe u slučaju rata, čak i nuklearnog, u vrijeme tzv. hladnog rata.

Zbog svojih geoloških i hidrogeoloških posebnosti, otok Vis bio je predmetom brojnih istraživanja još od 18. stoljeća. Zbog ograničenja, velik broj referenci na temeljna geološka istraživanja neće se posebno navoditi u ovom radu, osim radova koji su izravno utjecali na geološku kartografiju, jedan od najvažnijih temelja hidrogeoloških istraživanja. Ipak, glavni autori svih geoloških istraživanja navest će se u ovom paragrafu, s napomenom da su reference dostupne u magistarskom radu (Terzić, 2003).

Već od sredine 18. stoljeća Donati i Fortis raspravljaju o komiškim vulkanogeno - sedimentno - evaporitnim stijenama (tzv. VSE kompleks). U 19. i početkom 20. stoljeća raznovrsna geološka razmatranja nastavljaju, kronološki: Hauer, Stache, Kišpatić, Martelli, Michel, Milojević, Vettters, Nopcsa, Koch, i posebno Salopek (1926, 1939). Svi ovi autori komiške stijene jasno svrstavaju u trijas. U drugoj polovici 20. stoljeća radovi se nastavljaju i traju praktički do danas, a vrijedi istaknuti brojne autore. To su: Crnolatac (1953), Mamužić, Šušnjar, Sila, Rozgaj, Šušnjara, Borović i drugi (1977), Šiftar, Ščavničar, Dumbović, Golub, Vragović, Sokač, Nikler, Balić - Žunić, Aljinović i Marković - Marjanović. Važno je napomenuti da su Borović i suradnici (1977) izradili Osnovnu geološku kartu (OGK) 1 : 100.000 na, danas dokazano, pogrešnoj hipotezi Šušnjara o gornjojurskoj starosti VSE kompleksa komiškog zaljeva, i normalnom slijedu stijena na njima. Ta je hipoteza zanemarivala sva dotadašnja istraživanja, a ubrzo je i zanemarena od strane geološke zajednice, te se noviji kartografski prikazi vraćaju trijaskoj starosti tih stijena. Istočno od Komiže u razdoblju 1961. - 1962. izvedena je duboka istražna bušotina (INA - Naftaplin), kojom su ispod eruptiva i evaporitne serije debele do 730 m utvrđeni dolomiti ispod kojih slijedi serija anhidrita, lapora, dolomita i vapnenaca u izmjeni. Na oko 3.400 m dubine određeni su vapnenci s ostatcima alge *Clypeina jurasica*. Bušenje je završilo na 3.688,5 m u malmskim vapnencima. Nakon 1990-ih nastavljaju se raznovrsna geološka istraživanja niza autora: Balogh, Rašković, Jerinić i Jelen, sve dok Korbar i suradnici (2012) ne objavljuju OGK 1 : 50.000 otoka Visa prema litostratigrafskom principu, temeljnu podlogu svih hidrogeoloških razmatranja od 2013. nadalje. Na geološkim podlogama već od 1950-ih godina pokreću se opsežna hidrološka i hidrogeološka istraživanja (Jovanović i Sarnavka, 1953; Poljak, 1953.; Šarin i Prvanović, 1963; Krulc, 1965; Krznar, 1968; Fritz, 1989; Krznar, 1989; Bagarić i drugi, 1997; Ivičić, 1997; Kordek, 1997; Kapelj i drugi, 2001), te brojna druga. Od 1967. do 1968. godine obavljena su ispitivanja na crpnoj stanici K-1a (Brojkovica) u Komiži (Krznar, 1968). Taj zdenac izbušen je 1952. u sklopu prvih vodoistražnih radova na Visu. Tvrtka „Geotehnika“ sudjeluje u izvedbi vodoopskrbnog sustava otoka Visa od 1952. godine sve do

1989. Nažalost, većina ovih elaborata nepovratno je izgubljena tijekom gašenja tvrtke u 1990-im godinama. Breznik (1973) piše o nastanku i sanaciji zaslanjenih krških izvora, s brojnim primjerima te detaljnom razradom odnosa slatke i slane vode u krškim uvjetima. Jedan od razrađenih primjera je izvor Pizdica na Visu. Neke od rezultata ovih istraživanja isti je autor prikazao u članku (1976) i u knjizi *“Storage reservoirs and deep wells in karst regions”* (1998). Hidrogeologija i vodoopskrba otoka Visa spomenuta je u najosnovnijim crtama u „Tumaču za hidrogeološku kartu SFR Jugoslavije“ u M 1 : 500.000 (Ivković i drugi, 1983). Geotehnika je 1989. izvela istražno-eksploatacijske bunare BO-6 i BO-7 u sklopu vodocrpilišta “Korita”. Zdenci BO-6 i BO-7 nisu zadovoljili potrebe povećanja kapaciteta crpilišta i danas nisu u pogonu (Krznar, 1989).

Zanimljiva hidrogeološka istraživanja provodi Fritz (1989). On razmatra sedam lokaliteta s aspekta površinskog uskladištenja vode. Kao najpovoljnija ocijenjena je lokacija jugozapadno od Kostirne u Sinovim dolcima koja se, kako autor naglašava, nalazi u slijevu vodonosnog područja Kostirna - Korita, pa tako gubitci iz akumulacije nisu u potpunosti izgubljeni već se kroz podzemlje ponovo vraćaju u vodonosnik. Napominje se kako bi takva akumulacija trebala pojačati crpilište u vrijeme minimalnih razina podzemne vode (RPV). Osim Sinovih dolaca napominje se kako je izrazito povoljna i akumulacija u jednoj dolini u neposrednoj blizini crpilišta Korita. Ovo je zanimljivo budući da od 2019. upravo ovakva istraživanja nastavlja Hrvatski geološki institut projektom DEEPWATER-CE (<https://www.interreg-central.eu/Content.Node/DEEPWATER-CE.html>). Osnovna tema projekta umjetno je napajanje vodonosnika (engl. *managed aquifer recharge*, MAR). Institut građevinarstva Hrvatske (Bagarić i drugi, 1997) prikazuje niz značajnih podataka o variranju crpnih količina na zdencima pri crpljenju, a prikazani su i hidrološki podatci o oborinama od 1975. do 1996. godine. Napravljena je karta sa slijevnim područjem crpilišta Korita, no riječ je uglavnom o površinskoj razvodnici koja nije podudarna sa stvarnom slijevnom površinom, budući da je riječ o krškom vodonosniku čiji su glavni drenažni pravci izrazito predisponirani tektonikom, a granice sljevova osim topografije diktira i geološka građa podzemlja. Obrađuje se i vodovodni sustav na otoku Visu (Kordek, 1997) analizom postojećeg stanja s prognozom potrošnje u budućnosti.

Ivičić (1997) je izradio “Hidrogeološku studiju dalmatinskih otoka” u sklopu koje je obrađen i otok Vis. Vranješ i Bojanić (1998) opisuju tehničke podatke cjelokupnog vodovodnog sustava, no značajno je kako se po prvi put razmišlja o postavljanju mjerila protoka, razine i saliniteta na zdencima crpilišta Korita i izvoru Pizdica. Štambuk - Giljanović i Carević (1998) pišu o vodoopskrbi srednjedalmatinskih otoka. Dane su prognoze potreba do 2025. godine i prikaz pokazatelja kakvoće vode. Također, spominju potrebu i postojanje plana o spajanju Visa na vodovodni sustav Omiš - Brač - Hvar - Vis - Šolta koji se vodom opskrbljuje s brane Prančevići, odnosno s dovodnog tunela HE Zakućac. Vodnom problematikom se bave brojni autori (Bonacci, 1998; Ivičić i Biondić, 1998; Milković, 1998; Sekulić, 1998; Pekaš i Vlahović, 2002; Vlahović i Pekaš, 2002).

Najnovije vrijeme hidrogeoloških istraživanja započinje kasnih 1990-ih i traje do danas. Provede se brojna istraživanja vezana uz vodoopskrbu jadranskih otoka, pa se tom problematikom bave brojni autori. Prvi detaljni radovi sastoje se od strukturogeološkog kartiranja, te *in situ* mjerenja i uzorkovanja voda (Kapelj i drugi, 2001), što se obrađuje i znanstveno (Kapelj i drugi, 2003), a uz znanstvenu obradu (Terzić, 2003; Terzić, 2004), prvi put se izračunavaju hidraulički parametri stijenskih masa otoka Visa te na temelju

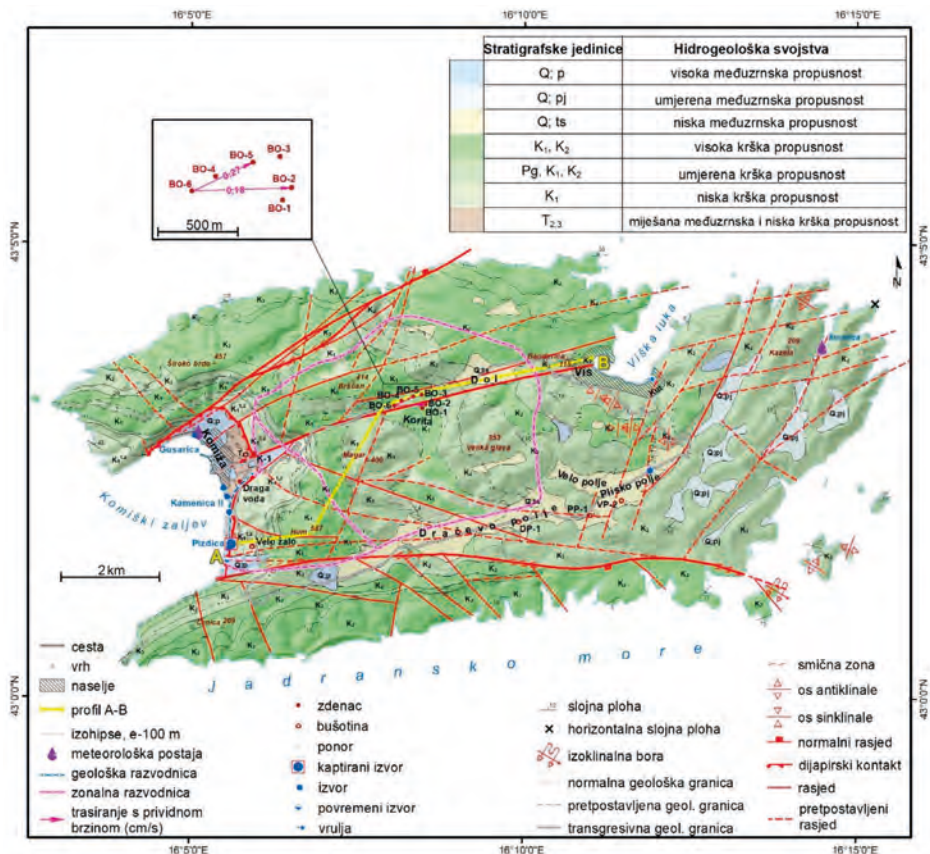
toga zaključuje kako je moguće povećati crpne količine na crpilištu Korita, odnosno dodatno snižavati konus depresije bez veće opasnosti od prekomjernog zaslanjenja (naravno, uz preporuku stalnog monitoringa i istraživanja). Slijede istraživanja za potrebe uspostave zona sanitarne zaštite (Terzić i Frangen, 2012) u sklopu kojih se, između ostaloga, obavlja do sada jedino trasiranje podzemnih tokova na Visu, te određuju perspektivne lokacije za istraživanja u svrhu zahvata dodatnih količina podzemne vode. Rezultati ovih radova bili su podloga za bušenje novog zdenca u zaleđu Pizdice (B-1) (Ostroški, 2018), a omogućili su i osuvremenjivanje konceptualnog modela otoka (Terzić i drugi, 2022). Od 2019. intenzivno se hidrogeološki istražuje otok Vis u sklopu projekta DEEPWATER-CE s nizom izvješća dostupnih na mrežnoj stranici projekta, ali i objavljenim radovima (Bonacci i drugi, 2020, Patekar i drugi, 2023). U sklopu projekta provedena su opsežna geofizička i hidrološka istraživanja otoka modernim metodama (Padovan i Ljubenkov, 2021). Električna tomografija s interpretativnom dubinom oko 200 m predstavlja pristup i metodu koju u budućim istraživanjima otoka treba obilno koristiti. Iako je na Visu nedavno snimljeno 10 km profila električne tomografije (Šumanovac, 2022), dubina interpretacije nije dosegla RPV.

3. MATERIJALI I METODE

Kako se ovaj rad oslanja na pregled dosadašnjih istraživanja, ali i originalne rezultate zadnjih istraživanja, ovdje se opisuju samo metode novih prinosa. Kao osnovna metoda hidrogeoloških razmatranja ističu se hidrogeološki zemljovidi. Korišteno je hidrogeološko i strukturnogeološko kartiranje dijelova terena, kao i reinterpretacije postojećih geoloških podloga svih generacija, u GIS tehnologiji.

Prikazana hidrokemijska istraživanja provedena su u mjesečnim kampanjama na najznačajnijim vodnim objektima otoka. *In situ* su mjereni pH, temperatura (T), saturacija kisikom (O_2), električna vodljivost vode (EC) multiparametarskim sondama tvrtke WTW te alkalinitet titrimetrijski. U uzorcima vode laboratorijski su mjerene koncentracije osnovnih iona (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) ionskom kromatografijom DIONEX ICS-6000 DP. Analize stabilnih izotopa (^{18}O and 2H) obavljene su na uređaju Picarro Isotope Analyzer.

Geofizička istraživanja metodom električne tomografije izvedena su instrumentom P.A.S.I. POLARES 2.0, s 8 kabela, 16 kanala svaki, te 128 čeličnih elektroda. Interpretacija je rađena softverima RES2DINV, ZondRes2D, Resipy i Surfer.



Slika 1. Hidrogeološki zemljovid otoka Visa (modificirano prema Terzić i drugi, 2022)

Automatski mjeraci CTD DIVER tvrtke Eijkelkamp postavljeni su na pet lokacija u vodne objekte, uz jedan vanjski uređaj za barometarsku kompenzaciju. Mjerenja su postavljena na sat vremena tijekom cijelog trajanja projekta i nastavljaju se. Mjere se razina vode, T i EC.

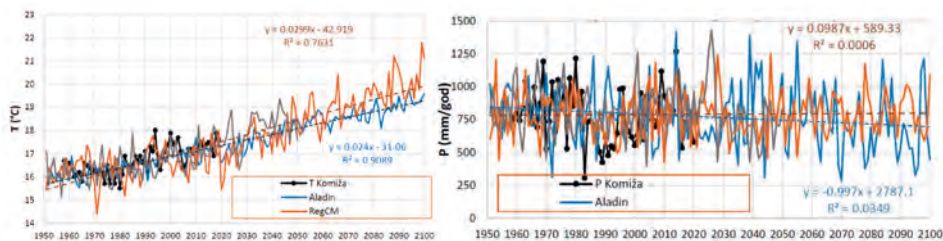
Za analize su prikupljeni klimatski podatci od strane DHMZ-a (T zraka i količina oborine), a Vodovod i odvodnja otoka Visa d.o.o. i Pomak d.o.o. ustupili su nam podatke očitavanja automatskih mjerača u crnim zdcencima.

4. REZULTATI I RASPRAVA

Hidrogeološki zemljovid otoka Visa napravljen je na temelju najnovije geološke podloge, (Korbar i drugi, 2012) (Slika 1.).

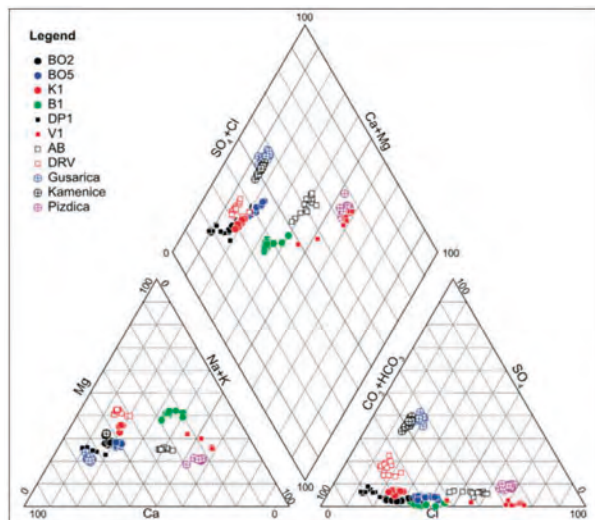
Kao što je vidljivo u legendi, stijene otoka Visa u hidrogeološkom smislu se mogu grupirati u pet skupina (sve su kvartarne naslage grupirane zajedno, što odgovara mjerilu proučavanja):

- VSE kompleks Komiškog zaljeva, poznatiji kao komiški dijapir, kaotična je izmjena vulkanskih, sedimentnih i evaporitnih stijena. Trijasko je starosti, a u hidrogeološkom smislu gotovo nepropustan i tvori potpunu barijeru krškim podzemnim tokovima. Izvori koji se nalaze u njima, primjerice Kamenice ili Gusarica, nastaju tečenjem kroz zonu trošenja i tlo, i nemaju vezu s okršnim karbonatima u zaleđu. Najjači kaptirani izvor Pizdica nalazi se na kontaktu VSE s karbonatima u razini mora,
- slabo propusne karbonatne stijene sastavljene su od članova karbonatne serije pretežito dolomitnog sastava. Prostorno su uglavnom smještene uz VSE kompleks te u tim dijelovima čine sastavni dio barijere, iako zbog razlomljenosti i okršnosti u blizini dijapira mogu biti vodopropusne,
- srednje propusne karbonatne stijene izgrađuju najveći dio unutrašnjosti otoka i glavni su razlog postanku i održavanju vodonosnika. Dovoljno su propusne i okršne da omogućuju tok podzemne vode, ali i dovoljno nepropusne da sprječavaju prekomjeren prodor mora
- visoko propusne karbonatne stijene nalaze se u glavnim zonama uz sjevernu i južnu obalu otoka pa ne pripadaju slijevnom području vodonosnika, no ima ih u određenim paketima i serijama i u unutrašnjosti otoka gdje lokalno mogu povisiti izdašnost zdenaca,
- kvartarne naslage nemaju izravnu ulogu u hidrogeološkim značajkama viškog vodonosnika, no u području krških polja, kroz geološko vrijeme, stijenska se masa zapunila sitnozrnatim materijalom polja (crvenicom), kao i pjeskovitim produktima trošenja dolomita, čime je formirana barijera toku podzemne vode.



Slika 2. Klimatski model otoka Visa do 2100. (Bonacci i drugi, 2020)

Osnovni klimatski trendovi prikazani na Slici 2. Autori uvrštavanjem prognoziranе klime do 2100. izračunavaju da je na Visu moguće smanjenje infiltracije u vodonosnik do 40 %. Ovakve prognoze daju dodatan značaj istraživanju alternativnih izvora vode na samom otoku, kao i umjetnom napajanju (MAR) ili desalinizaciji bočate podzemne vode.



Slika 3. Piperov dijagram (Patekar i drugi, 2022).

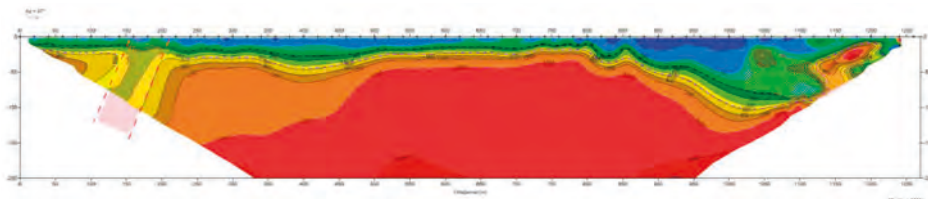
U Piperovom dijagramu (Slika 3) prikazani su hidro-kemijski facijesi analiziranih voda na otoku Visu u razdoblju 2019-2021. Obuhvaćeni su zdeneci u Koritima, zdenac K-1 iznad Komiže (Brojkovica), novi zdenac B-1 iznad Pizdice, izvori Pizdica, Kamenice i Gusarica, Austrijski bunar, kao i dvije davno izbušene i zbog niske izdašnosti zapuštene bušotine, jedna iznad Velog žala, druga u Dračevom polju. Vode uglavnom imaju mješoviti facijes, a u glavnim zdenecima većinu godine prevladava CaMg-HCO_3 varijanta, dok priobalni objekti izloženi prodoru mora pretežito imaju Na-Cl hidro-kemijski facijes.



Slika 4. Podatci automatskih mjerača (mjerila tvrtka Pomak za Vodovod i odvodnju otoka Visa), RPV na zdencu BO1 u Koritima

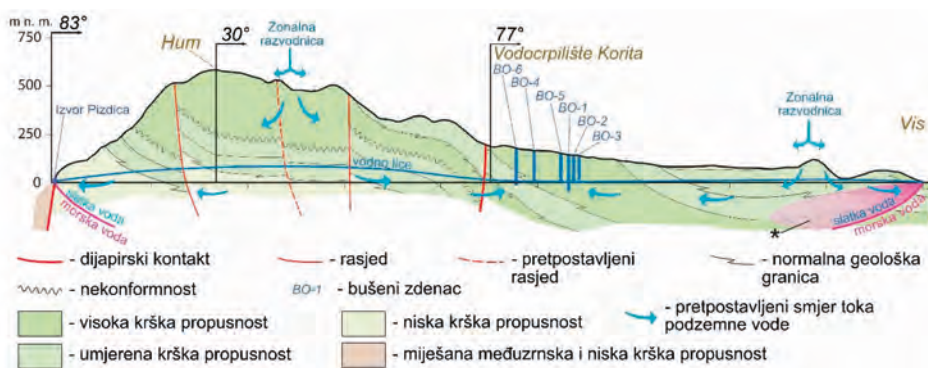
RPV u ljetnom se razdoblju, kada infiltracije gotovo i nema, a potrošnja je maksimalna zbog turističke sezone, spušta blizu razine mora. Na Slici 4 je vidljivo kako već krajem vrhunca turističke sezone dolazi do blagog oporavka vodonosnika zbog smanjenja potrošnje (time i crpljenja), uz trend laganog rasta prema zimskom razdoblju. Pri prvim jačim kišama vodonosnik se puni, pa je u ovom prikazu vidljivo da se u zimu 2020. / 2021. razina u zdencu podigla za oko 4,5 m, dok je u zimu 2021. / 2022. ta razlika gotovo 8 m. Taj kratak prikaz jasno ukazuje na važnost infiltracije i sezonskih oborina, koje, kada izostanu, mogu uzrokovati velike probleme u nadolazećem razdoblju. Ipak, ujedno

ukazuje na činjenicu da je već ovih nekoliko metara porasta RPV dovoljno da vodonosnik izdrži ljetnu sezonu intenzivnog crpljenja bez restrikcija. Potrebno je s vremenom ispitati kretanje EC ukoliko bi se razine u ljetnom razdoblju crpljenja spuštale ispod razine mora, što je s hidrauličkog stajališta moguće. Stijenska masa u vodonosnom dijelu sredine otoka ima hidrauličku vodljivost reda veličine 10^{-5} do 10^{-6} m/s i dovoljno je udaljena od mora. Kako je riječ o krškom terenu, takvu je tvrdnju moguće dokazati samo uz kontinuirani monitoring, te istraživanja prije i tijekom crpljenja, uz analizu povrata razine i EC vrijednosti vode u vodonosniku oko Korita.



Slika 5. Profil geoelektrične tomografije u Pliskom polju (Padovan i Ljubenković, 2021).

S hidrogeološkog stajališta, izuzetno je važno istraživanje krških polja u južnoj morfološkoj udolini otoka Visa. Tu je, zbog zapunjenosti pukotina u stijenskoj masi ispod polja, razvijena barijera toku podzemne vode, ali i barijera prodoru mora u vodonosnik, što je jedan od ključnih čimbenika za nastanak kvalitetnog vodonosnika u središnjem dijelu otoka. Iako su još 1953. istraživači (Crnolatc, 1953; Poljak, 1953) pisali o debljini kvarternih naslaga (mješavina crvenice i karbonatnog kršja) do 45 m na temelju bušotinskih podataka, u ODK (Korbar i drugi, 2012) polja nisu ucrtana. Stoga je tijekom projekta DEEPWATER-CE napravljeno nekoliko profila geoelektrične tomografije u poljima (Slika 5), koji su u suglasju s podacima Crnolatca i Poljaka.



Slika 6. Shematizirani hidrogeološki profil otoka Visa, konceptualni model za buduća istraživanja (modificirano prema Terzić i drugi, 2022).

Nakon izvedenog trasiranja podzemnih tokova (Terzić i Frangen, 2012), uz konzultiranje do tada prikupljenih hidrokemijskih i geoloških pokazatelja, izmijenjen je konceptualni model otoka, te je slijevno područje izvora Pizdica odijeljeno od vodonosnika u središnjem dijelu otoka zahvaćenog u Koritima (Terzić i drugi, 2022). U shematiziranom hidrogeološkom profilu (Slika 6) naznačena je pozicija ove zonalne razvodnice, kao i zona

jednog od mogućih smjerova podzemnog prodora morske vode u ovaj vodonosnik (drugi je sa sjevera). Ovdje treba napomenuti kako je količina podataka za ovu vrstu konceptualizacije relativno mala i potrebno je nastaviti istraživanja. S vremenom treba izvesti još nekoliko trasiranja podzemnih tokova na otoku te nastaviti s kontinuiranim opažanjem što većeg broja objekata automatskim mjeračima, uz, također, što češća uzorkovanja i analize podzemnih voda. Potrebno je provesti i što više geofizičkih istražnih radova. U zonama gdje je ciljana dubina interpretacije oko 200 m može poslužiti geoelektrična tomografija (Slika 5), a u dubljim zonama potrebno je osloniti se na magnetotelursko sondiranje - geofizičku metodu koja se sve češće širom svijeta koristi, između ostaloga, i za istraživanje zona miješanja slatke i slane vode u podzemlju.

ZAKLJUČAK

Krški vodonosnik otoka Visa jedan je od najvrjednijih te vrste u Republici Hrvatskoj, a uz to je i izuzetno zanimljiv za hidrogeološka istraživanja. Prikazanim rezultatima istraživanja ukazuje se na mogućnost zahvaćanja dodatnih količina podzemnih voda na Visu, što bi usprkos utjecaju klimatskih promjena do kraja ovog stoljeća, moglo osigurati stabilnu vodoopskrbu stanovništva iz vlastitog otočkog vodonosnika, kao i do sada. Najvažniji su zaključci ovog rada:

- otočki je vodonosnik razvijen u okršnim karbonatnim stijenama kredne starosti kojima se hidraulička vodljivost kreće u rasponu reda veličine od 10^{-5} do 10^{-6} m/s;
- povoljne geološke okolnosti omogućile su postanak i održavanje ovog vodonosnika, a to su prije svega dvije hidrogeološke barijere: (1) potpuna barijera u Komiškom zaljevu (VSE kompleks) kao zapadni rub vodonosnika i (2) barijera u zapunjenoj stijenskoj masi ispod krških polja, odnosno južna granica vodonosnika;
- u hidrokemijskom smislu, vode su izložene utjecaju mora samo u priobalnom području (Pizdica), dok je glavno crpilište u unutrašnjosti otoka (Korita) pri postojećim, a vjerojatno i višim crpnim količinama, još uvijek bez značajnijeg utjecaja podzemnog prodora mora;
- vodne bilance do kraja stoljeća predviđaju, u najnepovoljnijem scenariju, i do 40 % deficita u infiltraciji;
- na temelju dosadašnjih istraživanja moguće je konstatirati da na otoku postoji mogućnost zahvata dodatnih količina podzemne vode bušotinskim zahvatima, no na većini mjesta trebalo bi bušiti dublje od 200, 300 m. Mikrolokacije je potrebno odrediti opsežnim hidrogeološkim i geofizičkim istraživanjima;
- uzimajući u obzir moderne istraživačke i tehnološke pristupe, vodoopskrbu je moguće unaprijediti i korištenjem umjetnog napajanja vodonosnika ili desalinacijom bočatih voda;
- zbog zadovoljenja vršnih opterećenja tijekom ljetne turističke sezone potrebno je izraditi i opremiti pričuvni zdenac na području Korita, kao i uspostaviti sustav trajnog opažanja i ranog uzbunjivanja u slučaju naglog porasta EC;
- u svakom slučaju nužno je nastaviti hidrogeološka i srodna istraživanja na otoku Visu radi boljeg razumijevanja i zaštite vodonosnika, kao i zahvata novih količina podzemnih voda.

ZAHVALA

Autori zahvaljuju Vodovodu i odvodnji otoka Visa d.o.o. na dugogodišnjoj suradnji, pristupu objektima, podacima i literaturi, te pomoći pri terenskim radovima. Na podacima monitoringa zahvaljujemo tvrtki Pomak d.o.o. iz Splita. Istraživanja u zadnjih dvadesetak godina, dijelom prikazana u radu, osim vlastitih znanstvenih fondova Hrvatskoga geološkog instituta, financirana su od strane Hrvatskih voda, te programa Interreg Central Europe (projekt DEEPWATER-CE). Državnom hidrometeorološkom zavodu zahvaljujemo na klimatskim podacima.

LITERATURA

- [1] Bagarić, I., Linčir, P., Novosel, T. (1997): *Istraživanje mogućnosti vodoopskrbe otoka Visa iz postojećeg crpilišta podzemne vode "Korita"*, Institut građevinarstva hrvatske, Zavod za hidrotehniku, Zagreb.
- [2] Bonacci, O. (1998): *Voda na otocima i mogućnost njenog korištenja*, Hrvatsko hidrološko društvo, okrugli stol "Voda na hrvatskim otocima", zbornik radova, 13-24, Hvar.
- [3] Bonacci, O., Patekar, M., Pola, M., Roje - Bonacci, T. (2020): *Analyses of climate variations at four meteorological stations on remote islands in the Croatian part of the Adriatic Sea*. Atmosphere, 11(10), 1044.
- [4] Borović, I., Marinčić, S., Majcen, Ž. (1977): *Osnovna geološka karta, List Vis*, Beograd.
- [5] Breznik, M. (1973): *Nastanak zaslanjenih kraških izvirov in njihova sanacija*, Geologija, 16, 183-186, Ljubljana.
- [6] Breznik, M. (1976): *Mogućnost saniranja zaslanjenih kraških izvora sa injektiranjem*, 1. jugosl. simp. konsol. tla, Zbornik referata, 293-296, Zagreb.
- [7] Breznik, M. (1998): *Storage reservoirs and deep wells in karst regions*, A. A. Balkema, pg. 251, Rotterdam, Brookfield.
- [8] Crnolatac, I. (1953): *Geologija otoka Visa*, Zavod za geološka istraživanja, Zagreb.
- [9] Duplančić Leder, T., Ujević, T., Čala, M. (2004) *Coastline Lengths and Areas of Islands in the Croatian Part of the Adriatic Sea Determined from the Topographic Maps at the Scale 1 : 25.000*. Geoadria, 9 (1), 5-32.
- [10] DEEPWATER-CE Interreg CE projekt (web stranica 27. 7. 2023.): <https://www.interreg-central.eu/Content.Node/DEEPWATER-CE.html>
- [11] Fritz, F. (1989): *Otok Vis, mogućnosti površinskog uskladištenja vode*, Arhiv Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- [12] Ivičić, D. (1997): *Hidrogeološka studija dalmatinskih otoka*, Arhiv Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- [13] Ivičić, D., Biondić, B. (1998): *Dalmatinski otoci - prirodni uvjeti, stanje i mogućnost vodoopskrbe*, Hrvatsko hidrološko društvo, okrugli stol "Voda na hrvatskim otocima", zbornik radova, 119-134, Hvar.

- [14] Ivković, A., Šarin, A., Komatina, M. (1983): *Tumač za hidrogeološku kartu SFR Jugoslavije 1:500.000*, Savezni geološki zavod, Beograd.
- [15] Jovanović, V., Sarnavka R. (1953). Hidrološka ispitivanja na otoku Visu. Arhiv Geotehnike. Zagreb.
- [16] Korbar, T., Belak, M., Fuček, L., Husinec, A., Oštrić, N., Palenik, D., Vlahović, I. (2012): *Osnovna geološka karta Republike Hrvatske 1 : 50.000. Listovi Vis 3 i Biševo 1 s dijelovima lista Vis 4 i otocima Sv Andrija, Brusnik, Jabuka i Palagruža*. Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- [17] Kapelj, J., Kapelj, S., Terzić, J. (2001): *Crpilišta pitke vode na otoku Visu - rezultati hidrogeoloških istražnih radova provedenih tijekom 1999 i 2000 godine*. Fond IGI br. 57/01.
- [18] Kapelj, J., Terzić, J., Kapelj, S., Dolić, M. (2003) *Recent hydrogeologic study of the Vis island*. Geologija, 45 (2), 419-426.
- [19] Kordek, S. (1997): *Vodovodni sustav na otoku Visu - analiza postojećeg stanja*, Institut građevinarstva hrvatske, Zavod za hidrotehniku, Zagreb.
- [20] Krulc, Z. (1965): *Geoelektrična ispitivanja Kostirna - Kuti, otok Vis*. Arhiv Geotehnike. Zagreb.
- [21] Krznar, J. (1968): *Elaborat o izvršenim ispitivanjima na pumpnoj stanici K-1a u Komiži*, Geotehnika, Zagreb.
- [22] Krznar J. (1989): *Elaborat o izvedbi istražno - eksploatacijskih bunara BO-6 i BO-7 (Korita – otok Vis)*, Geotehnika, Zagreb.
- [23] Milković, J. (1998): *Oborina na otocima i obali*. Hrvatsko hidrološko društvo, okrugli stol "Voda na hrvatskim otocima", zbornik radova, 83-98, Hvar.
- [24] Ostroški, T. (2018): *Istražno bušenje na otoku Visu*. Geobim d.o.o., Beletinec.
- [25] Padovan, B., Ljubenkov, I. (2021): *DEEPWATER-CE: Izrada hidrološke bilance i provedba geofizičkih istraživanja. Završno izvješće*. Terra Compacta d.o.o. Arhiv Vodovoda i kanalizacije d.o.o., Split.
- [26] Patekar, M., Bašić, M., Pola, M., Kosović, I., Terzić, J., Lucca, A., Mitterpergher, S., Berio, L., Borović, S. (2022): *Multidisciplinary investigations of a karst reservoir for managed aquifer recharge applications on the island of Vis (Croatia)*. Acque sotterranee = Italian journal of groundwater, 11 (1), 37-48.
- [27] Patekar, M., Soža, M., Pola, M., Nakić, Z., Bašić, M., Terzić, J., Borović, S. (2023): *Feasibility Study of Managed Aquifer Recharge Deployment on the Island of Vis (Croatia)*. Sustainability, 15 (20); 9934.
- [28] Pekaš, Ž., Vlahović, T. (2002): *Zaštita vodonosnika na otocima*. I. znanstveno - stručni skup "Turizam, vodno gospodarstvo i zaštita mora", Opatija, str. 195-201.
- [29] Poljak, J. (1953): *Geološki i hidrogeološki izvještaj o otoku Visu*, Zavod za geološka istraživanja, Zagreb.
- [30] Salopek, M. (1926): *O razvoju trijasa na otoku Visu, I. dio*, Geografski vestnik, Ljubljana.

- [31] Sekulić, B. (1998): *Potrebe za vodom otoka Hrvatske*, Hrvatsko hidrološko društvo, okrugli stol "Voda na hrvatskim otocima", zbornik radova, 45-62, Hvar.
- [32] Salopek, M. (1939): *O tektonskom okviru trijasa u Komiškom zalivu*. Rad JAZU, knjiga 263, 113-138,
- [33] Šarin, A., Prvanović, M (1963): Pregled geologije sjevernog dijela otoka Visa – preliminarni izvještaj. Arhiv Geotehnike. Zagreb.
- [34] Štambuk - Giljanović, N., Carević, T. (1998): *Vodoprovodnost na području srednjo-dalmatinskih otoka Brača, Hvara, Šolte i Visa*, Hrvatska vodoprivreda 67, 6-12, Zagreb.
- [35] Šumanovac, F. (2022): *Geofizička istraživanja na području otoka Visa*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- [36] Terzić, J. (2003): *Hidrogeološki odnosi otoka Visa*. Magistarski rad. Rudarsko - geološko - naftni fakultet, 106 str., Zagreb.
- [37] Terzić, J. (2004): *Hidrogeološki odnosi na krškim otocima - primjer otoka Visa*. Mining - geology - petroleum engineering bulletin, 16(1), 47 - 58.
- [38] Terzić, J., Frangen, T. (2012): *Hidrogeološki istražni radovi s izradom elaborata za prijedlog zona sanitarne zaštite i moguće povećanje crpnih količina vode za crpilišta otoka Visa*. Fond HGI 052/12.
- [39] Terzić, J., Frangen, T., Borović, S., Reberski, J., Patekar, M. (2022) *Hydrogeological Assessment and Modified Conceptual Model of a Dinaric Karst Island Aquifer*. Water, 14 (3), 14030404.
- [40] Vlahović. T., Pekaš, Ž. (2002): *Prirodni uvjeti, stanje i mogućnost vodoprovodnosti Jadranskih otoka*. I. znanstveno – stručni skup "Turizam, vodno gospodarstvo i zaštita mora", Opatija, str. 105 – 119.
- [41] Vranješ, M., Bojanić, D. (1998): *Projekt vodomjerenja vodozahvata Dalmacije – vodovod Vis*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split.

AUTORI

dr. sc. Staša Borović ^a

dr. sc. Josip Terzić ^a

Matko Patekar, mag.geol. ^a

dr. sc. Marco Pola ^a

dr. sc. Tihomir Frangen ^a

dr. sc. Jasmina Lukač Reberski ^a

Ivan Kosović, dipl. ing. geol. ^a

dr. sc. Maja Briški, ^a

Mihaela Bašić, mag. ing. geol. ^a

^a Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Hrvatska, sborovic@hgi-cgs.hr, jterzic@hgi-cgs.hr



R 1.30.

USPOSTAVA I VALIDACIJA *IN - SITU* KONTINUIRANOG MONITORINGA STUPNJA ZASLANJENOSTI POVRŠINSKIH I PODZEMNIH VODA U DELTI RIJEKE NERETVE

Marko Reljić, Monika Zovko, Marina Bubalo Kovačić, Davor Romić

SAŽETAK: Jedna od najznačajnijih posljedica promjena globalne klime je podizanje razine mora i posljedično tome sve izraženiji procesi intruzije morske vode u obalna područja, osobito na Mediteranu. Ovim procesima posebno su ugrožene krške riječne delte, gdje se intenziviraju procesi prodora morske vode i zaslanjivanja krških vodonosnika. S tog aspekta, delta rijeke Neretve jedno je od najranjivijih područja u Republici Hrvatskoj čija složena hidrogeologija, ali i izgrađeni hidrotehnički objekti i provedene melioracijske mjere uvjetuju kompleksne procese kretanja vode. U okviru projekta DELTASAL odabrane su dvije lokacije unutar hidromeliorirane delte rijeke Neretve na kojima je uspostavljen *in - situ* kontinuirani monitoring stupnja zaslanjenosti površinskih i podzemnih voda primjenom višeparametarskih sondi. Sonde su instalirane na odabranim lokacijama unutar poldera Luke i polder Vidrice, u melioracijske kanale za monitoring površinskih i plitke piezometre za monitoring podzemnih voda. U satnoj vremenskoj rezoluciji sonde imaju mogućnost prikupljanja i automatskog slanja većeg broja fizikalno - kemijskih pokazatelja uključujući električnu vodljivost vode (EC_w). Prikupljeni podaci EC_w površinskih i podzemnih voda s dvije lokacije istraživanja uspoređeni su s podacima koji su dobiveni laboratorijskim ispitivanjima uzorka vode s istih lokacija, a koji su prikupljeni u okviru istraživačkog monitoringa koji se provodi na području delte rijeke Neretve. Cilj rada je validirati mjerenja EC_w koja su dobivena korištenjem višeparametarske sonde te ocijeniti točnost prikupljenih podataka na temelju procjenitelja kao što su koeficijent determinacije (R^2), srednja apsolutna pogreška (MAE) i korijen srednje kvadratne pogreške (RMSE). Analizom varijance utvrdit će se postoje li statistički značajne razlike između mjerenja prikupljenih *in - situ* kontinuiranim monitoringom i klasičnim istraživačkim monitoringom. Provedenom validacijom mjerenja utvrđeno je da se višeparametarske sonde mogu koristiti za pouzdana i brza mjerenja EC_w u realnom vremenu.

KLJUČNE RIJEČI: Delta Neretve, Monitoring, Zaslanjivanje, Višeparametarske sonde

ESTABLISHMENT AND VALIDATION OF *IN - SITU* CONTINUOUS MONITORING OF SALINITY LEVELS IN SURFACE WATERS AND GROUNDWATER IN THE NERETVA RIVER DELTA

ABSTRACT: One of the most significant consequences of global climate change is the rising sea levels and consequently, more pronounced processes of seawater intrusion into coastal areas, especially in the Mediterranean region. These processes particularly endanger karst river deltas, where seawater intrusion and salinization of karst aquifers are intensifying. From this viewpoint, the Neretva River delta is one of the most vulnerable areas in Croatia, where its complex hydrogeology, as well as the hydraulic structures built and the drainage measures implemented, dictate intricate water movement processes. Within the DELTASAL project, two sites were selected for establishing *in - situ* continuous monitoring of salinity levels in surface waters and groundwater using multiparameter probes. The probes were installed at selected locations within the Luke polder and the Vidrice polder in drainage channels of the Neretva delta to monitor surface waters, and in shallow piezometers to monitor groundwater. With an hourly time resolution, the probes are capable of collecting and automatically transmitting a variety of physico - chemical indicators, including electrical conductivity of water (EC_w). The collected EC_w data from surface waters and groundwater at the two research sites were compared with data obtained from laboratory analyses of water samples collected at the same sites as part of investigative monitoring conducted in the Neretva River Delta. The aim of the paper is to validate the EC_w measurements obtained with the multiparameter probes and to assess the accuracy of the collected data using metrics such as the coefficient of determination (R^2), the mean absolute error (MAE) and the root mean square error (RMSE). The analysis of variance will determine if there are statistically significant differences between the *in - situ* continuous monitoring and traditional investigative monitoring measurements. The conducted validation of the measurements has shown that multiparameter probes can be used for reliable and fast real-time EC_w measurements.

KEYWORDS: Neretva River delta, Monitoring, Salinization, Multiparameter probes

1. UVOD

Podizanje razine mora jedan je od najznačajnijih indikatora klimatskih promjena (Bindoff i sur., 2007). Iako je porast razine mora na globalnoj razini zabilježen tijekom cijelog 20. stoljeća, prema nekim istraživanjima taj se proces intenzivirao prema kraju stoljeća (Domazetović i sur., 2017). U odnosu na razdoblje 1901. - 2010. u kojem je prema IPCC-u (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) srednja vrijednost porasta globalne razine mora iznosila 1,7 mm godišnje, u razdoblju 1993. - 2010. ta se vrijednost gotovo udvostručila i iznosila je 3,2 mm godišnje (Church i sur., 2013). Na podizanje razine mora, ali i klimatske promjene općenito, posebno su osjetljiva obalna područja, osobito riječne delte u kršu gdje se intenziviraju prirodni i antropogeni procesi intruzije morske vode u obalne vodonosnike i površinske vodene tokove. U krškim karbonatnim vodonosnicima koji su karakteristični za istočnu jadransku obalu, procesi intruzije posebno su izraženi u ljetnim, sušnim mjesecima kao posljedica smanjene količine oborina i smanjenog dotoka svježe vode sa sliva (Romić i sur., 2019). Iako se intruzija morske vode i zaslanjivanje

podzemnih i površinskih voda javlja u cijelom priobalnom području Republike Hrvatske, ti procesi posebno su izraženi u dolini rijeke Neretve čiji se prostor koristi za intenzivnu poljoprivrednu proizvodnju. Poljoprivredno područje doline rijeke Neretve karakteriziraju parcele polderskog tipa čija se funkcionalnost održava mrežom hidrotehničkih objekata uključujući melioracijske kanale, crpne stanice i ustave (Romić i sur., 2020). Zbog svog položaja i hidrogeoloških značajki intruzija morske vode izražena je i do nekoliko desetaka kilometara uzvodno od ušća rijeke Neretve (Ljubenković i Vranješ, 2012; Krvavica i sur., 2021). Posljedica toga su privremeno ili trajno zaslanjeni izvori vode koji se koriste za navodnjavanje poljoprivrednih kultura, a što može imati brojne negativne posljedice na agrobiocenozu delte (Romić i sur., 2019).

Kako bi se omogućilo donošenje adekvatnih i pravodobnih odluka prilikom upravljanja kompleksnim sustavima kao što su riječne delte, osobito kada su visoko antropogenizirane, neophodna je uspostava sustava monitoringa sastavnica okoliša, u prvom redu površinskih i podzemnih voda. Monitoring kakvoće voda od lokalnog je i globalnog interesa, a u većini država na neki način je zakonski uređen i definiran. U Europskoj uniji monitoring voda definiran je u okviru Okvirne direktive o vodama (EC/2000/60), a u Hrvatskoj u okviru Zakona o vodama (Narodne novine, br. 66/19, 84/21 i 47/23) i Uredbe o standardu kakvoće voda (Narodne novine, br. 96/19, 20/23 i 50/23). Zakonski je definirana uspostava mreže i način provođenja operativnog i nadzornog monitoringa površinskih i podzemnih voda. Uz navedeno, u posebnim uvjetima koji su definirani Uredbom (Narodne novine, br. 96/19, 20/23 i 50/23) moguća je uspostava i istraživačkog monitoringa. Na području doline rijeke Neretve uspostavljen je istraživački monitoring zaslanjenja voda i poljoprivrednih tala kojeg provode Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet i Sveučilište u Splitu Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije koji se kontinuirano provodi od 2009. godine. Monitoring zaslanjenja voda provodi se klasičnim uzorkovanjem i laboratorijskim ispitivanjima uzoraka površinskih i podzemnih voda u mjesečnim vremenskim intervalima s ukupno 22 lokacije. Klasični monitoring, premda omogućava dobivanje pouzdanih i točnih rezultata zahtjevan je u pogledu resursa (financijskih, vremenskih i ljudskih), a potencijalni nedostatak predstavlja i činjenica da se ovim pristupom u konačnici dobivaju „povijesni“ rezultati jer od trenutka uzorkovanja do dobivanja rezultata prođe i do nekoliko dana (Pasika i Gandla, 2020). Tehnološki napredak posljednjih nekoliko desetljeća omogućio je i razvoj automatskih, senzorskih, *in situ* kontinuirani sustava monitoringa kakvoće voda koji su danas sve pristupačniji. *In situ* senzori omogućuju brz i pouzdan monitoring okoliša, a mogu se koristiti za trenutačna mjerenja ili za dugoročnu instalaciju pri čemu imaju mogućnost prikupljanja i slanja velikog broja podataka u visokoj vremenskoj rezoluciji i u realnom vremenu (O'Grady i sur., 2021). Stoga je uz klasični monitoring, na dvije lokacije unutar delte rijeke Neretve 2021. godine instaliran sustav za kontinuirani monitoring stupnja zaslanjenosti površinskih i podzemnih voda u visokoj vremenskoj rezoluciji. Glavni cilj rada je validirati instalirani sustav rezultatima klasičnog monitoringa te na temelju procjenitelja R^2 , MAE i RMSE ocijeniti njegovu točnost i mogućnost korištenja u agroekološkim uvjetima delte rijeke Neretve.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Područje istraživanja

Istraživanje je provedeno na području melioracijskih područja (MP) Vidrice i Luke koja se nalaze unutar doline rijeke Neretve (43°00 S, 17°30 I) smještene na jugo - istočnoj obali Jadranskog mora (Slika 1). Dolina rijeke Neretve obuhvaća prostor od oko 12.000 ha od kojih je nešto više od 5.000 ha intenzivnim melioracijskim zahvatima pretvoreno u obradivo poljoprivredno zemljište (Zovko i sur., 2018). Istraživačko područje karakterizira sredozemna (mediteranska) klima. Prosječna višegodišnja temperatura zraka za meteorološku postaju područja Ploče (1988. - 2020.) iznosila je 15,9 °C. Najniža prosječna temperatura utvrđena je u siječnju (7,0 °C), a najviša u srpnju (25,7 °C). Prosječna višegodišnja količina oborina u istom razdoblju iznosila je 1.077,3 mm, a kretala se u rasponu od 673,5 mm (1989. godine) do 1.514,8 mm (1995. godine). Najveća količina oborina padne u studenom i prosincu, a najmanje u srpnju i kolovozu.



Slika 1. Područje istraživanja

2.2. Monitoring površinskih i podzemnih voda

Od 2009. godine na ukupno 22 lokacije unutar doline Neretve kontinuirano se provodi istraživački monitoring zaslanjenja voda i poljoprivrednih tala kojeg provodi Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet za naručitelja Hrvatske vode. Monitoring se provodi klasičnim mjesečnim uzorkovanjem površinskih i podzemnih voda i laboratorijskim ispitivanjima uzoraka na veći broj pokazatelja povezanih sa zaslanjivanjem (Romić i sur., 2009. - 2022.) . U okviru projekta DELTASAL (KK 05.1.1.02.0011) monitoring stupnja zaslanjenosti površinskih i podzemnih voda unutar MP Vidrice i MP Luke 2021. godine unaprijeđen je instalacijom senzorskog sustava za *in - situ* kontinuirani monitoring.

Sustav se sastoji od višeparametarske sonde (VPS), modema za prikupljanje i prijenos podataka te sustava za napajanje koji se sastoji od baterije i solarnog panela. Sonde su instalirane u odvodne melioracijske kanale za monitoring površinskih i plitke piezometre (4 m dubine) za monitoring podzemnih voda, a opremljene su sensorima i elektrodama za mjerenje: temperature vode ($^{\circ}\text{C}$), dubine vode (m), pH, oksidacijsko redukcijskog potencijala - ORP (mV) i električne vodljivosti - EC_w (dS m^{-1}). Podaci su prikupljeni u satnoj vremenskoj rezoluciji. Iako VPS omogućuju automatsko kontinuirano prikupljanje podataka, kako bi se osiguralo prikupljanje pouzdanih podataka važno je redovito čišćenje i kalibracija. U izvanvegetacijskom razdoblju (1. listopada - 31. ožujak) sonde su kalibrirane jednom u dva mjeseca dok su u vegetacijskom razdoblju (1. travanj - 30. rujn) kalibrirane jednom mjesečno. Elektroda za mjerenje EC_w kalibrirana je standardnom otopinom $\text{EC} = 1413 \mu\text{S cm}^{-1}$, a izmjerene vrijednosti EC_w sonda automatski korigira na EC_w pri 25°C .

2.3. Statistička analiza i validacija mjerenja

Statistička analiza i validacija mjerenja provedena je nad podacima EC_w površinskih i podzemnih voda unutar MP Luke i MP Vidrice prikupljenim u dvomjesečnim intervalima u razdoblju listopad 2021. - kolovoz 2022. pri čemu su obuhvaćena tri mjeseca izvanvegetacijskog (listopad, prosinac, veljača) i tri mjeseca vegetacijskog razdoblja (travanj, lipanj, kolovoz). Prvo je izvršena osnovna deskriptivna statistika koja uključuje izračun pokazatelja: aritmetičke sredine, medijane, minimuma, maksimuma, standardne devijacije i koeficijenta varijacije. Nakon osnovne statističke analize provedena je analiza varijance (ANOVA) kako bi se utvrdilo postoji li statistički značajna razlika između vrijednosti EC_w koja je dobivena mjesečnim istraživačkim monitoringom i laboratorijskim ispitivanjima te vrijednosti EC_w koja je dobivena *in situ* kontinuiranim monitoringom. Nakon provedene ANOVA-e u kojoj je *F test* bio signifikantan provedeno je testiranje značajnosti razlika aritmetičkih sredina Tukey HSD (eng. *honestly significant difference*) *post hoc* testom višestruke usporedbe s razinom značajnosti $p = 0,05$, a grupe označene različitim slovima se statistički značajno razlikuju. Kako bi se utvrdila točnost mjerenja EC_w koja su dobivena *in situ* kontinuiranim monitoringom provedena je kontrola i validacija mjerenja. Rezultati laboratorijskih ispitivanja uspoređeni su s rezultatima dobivenim VPS u trenutku uzorkovanja vode. Točnost mjerenja ocjenjena je na temelju koeficijenta determinacije (R^2), srednje apsolutne pogreške MAE (eng. *mean absolute error*) te na temelju vrijednosti korijena srednje kvadratne pogreške RMSE (eng. *root mean square error*).

3. REZULTATI

Rezultati deskriptivne statistike prikazani su u tablici 1. U površinskoj vodi unutar MP Vidrice prosječna vrijednost EC_w dobivena laboratorijskim ispitivanjima iznosila je $2,3 \text{ dS m}^{-1}$, a kretala se u rasponu $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ do $3,8 \text{ dS m}^{-1}$. Slične vrijednosti utvrđene su i korištenjem VPS gdje je prosječna vrijednost EC_w iznosila $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ s rasponom $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ do $3,6 \text{ dS m}^{-1}$. Prema Rhoadesu i sur. (1993) površinska voda unutar MP Vidrice može se klasificirati kao srednje zaslanjena, ali se nalazi vrlo blizu donjoj granici od $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ i klasi malo zaslanjenih voda koje su pogodne za navodnjavanje poljoprivrednih

kultura. U podzemnoj vodi unutar MP Vidrice utvrđene prosječne vrijednosti EC_w bile su više u odnosu na površinsku vodu, a iznosile su $10,0 \text{ dS m}^{-1}$ (laboratorijska ispitivanja) i $10,6 \text{ dS m}^{-1}$ (VPS), te je voda klasificirana kao jako zaslanjena. Laboratorijskim ispitivanjima utvrđena minimalna vrijednost EC_w bila je za $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ niža u odnosu na minimum izmjeren pomoću VPS. Viša maksimalna vrijednost utvrđena je laboratorijskim ispitivanjima, ali je razlika bila manja nego kod utvrđenih minimuma i iznosila je $1,0 \text{ dS m}^{-1}$. Razlike u dobivenim rezultatima, osobito minimalno utvrđenim vrijednostima mogu biti objašnjene različitom dubinom uzorkovanja podzemne vode na MP Vidrice gdje s povećanjem dubine dolazi i do povećanja vrijednosti EC_w . Naime, VPS fiksirana je na dubini od $\approx 2,5 \text{ m}$ od površine tla, dok se uzorci vode za laboratorijska ispitivanja uzimaju bliže bliže površini tla, osobito u izvanvegetacijskom razdoblju kada je razina vode u pizometru obično viša nego u vegetacijskom razdoblju. Suprotno MP Vidrice, unutar MP Luke niža prosječna vrijednost EC_w utvrđena je u podzemnoj vodi i iznosila je $3,8 \text{ dS m}^{-1}$ ($1,8 - 5,0 \text{ dS m}^{-1}$) kod klasičnog i $3,6 \text{ dS m}^{-1}$ ($1,7 - 4,8 \text{ dS m}^{-1}$) kod *in - situ* monitoringa. Prosječno utvrđena vrijednost EC_w u površinskoj vodi na MP Luke iznosila je $5,4 \text{ dS m}^{-1}$ u uzorcima analiziranim u laboratoriju i $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ prilikom mjerenja VPS. I površinske i podzemne vode unutar MP Luke bile su srednje zaslanjene.

Tablica 1. Deskriptivna statistika vrijednosti EC_w površinskih i podzemnih voda na MP Vidrice i MP Luke dobivenih klasičnim monitoringom i laboratorijskim ispitivanjima te *in - situ* kontinuiranim monitoringom primjenom VPS i rezultati ANOVA-e i višestruke usporedbe Tukey HSD post - hoc testom

Pokazatelj: EC_w (dS m^{-1})	MP Vidrice				MP Luke				
	Pov. voda VPS	Pov. voda lab.	Pod. voda VPS	Pod. voda lab.	Pov. voda VPS	Pov. voda lab.	Pod. voda VPS	Pod. voda lab.	
Prosjek	2,2	2,3	10,6	10,0	6,0	5,4	3,6	3,8	
Medijan	2,0	2,1	9,7	10,0	6,6	5,5	3,8	3,8	
Minimum	1,5	1,5	8,1	4,9	3,2	2,7	1,7	1,8	
Maksimum	3,6	3,8	13,8	14,8	7,9	7,5	4,8	5,0	
St. devijacija	0,78	0,86	2,3	3,1	2,0	2,2	1,1	1,2	
CV	0,36	0,38	0,22	0,31	0,34	0,40	0,31	0,30	
ANOVA									
Tukey HSD test		C	C	A	A	B	BC	BC	BC

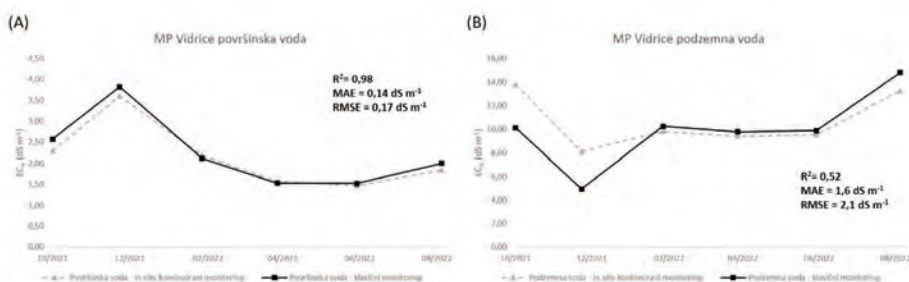
* CV - koeficijent varijacije; Pov. - površinska; Pod. - podzemna; lab. - laboratorij

Dobiveni rezultati su validirani, a točnost mjerenja ocijenjena je na temelju procjenitelja R^2 , MAE i RMSE. U površinskoj vodi na MP Vidrice nisu utvrđena veća odstupanja između vrijednosti EC_w koje su dobivene korištenjem VPS u odnosu na vrijednosti dobivene laboratorijskim ispitivanjima (Slika 2.A). Vrijednosti pogrešaka bile niske, a iznosile su MAE = $0,14 \text{ dS m}^{-1}$ i RMSE = $0,17 \text{ dS m}^{-1}$ što ukazuje na visoku razinu točnosti, koju potvrđuje i vrijednost $R^2 = 0,98$. U podzemnoj vodi unutar MP Vidrice utvrđena su određena odstupanja između vrijednosti EC_w dobivenih *in - situ* kontinuiranim

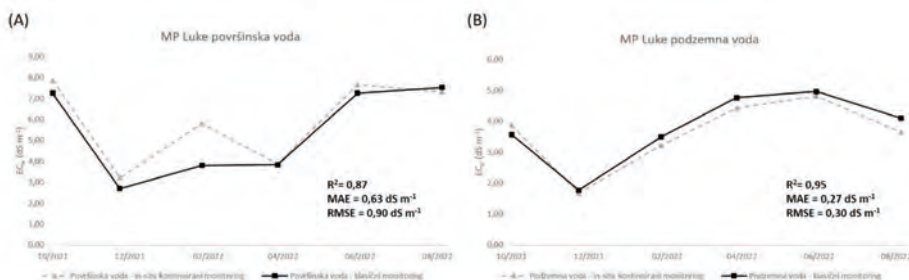
nim i klasičnim istraživačkim monitoringom što je vidljivo i na grafičkom prikazu (Slika 2.B). Vrijednost R^2 iznosila je 0,52, a pogreške su iznosile 1,6 dS m^{-1} za MAE i 2,1 dS m^{-1} za RMSE. Iz grafičkog prikaza vidljivo je da su razlike izraženije u izvanvegetacijskom razdoblju kada je razina vode u piezometru bila najviša, što potvrđuje da razlike mogu biti posljedica različite dubine uzorkovanja vode.

Unutar MP Luke veće razlike u vrijednostima EC_w utvrđene su u površinskoj vodi i to samo u jednom terminu uzorkovanja (Slika 3.A) dok su u podzemnoj vodi razlike bile minimalne (Slika 3.B). Unatoč utvrđenim razlikama, vrijednost R^2 bila je visoka za površinsku (0,87), a osobito za podzemnu vodu (0,95). U podzemnoj vodi utvrđene su niže MAE i RMSE u odnosu na površinsku vodu i bile 0,27 dS m^{-1} i 0,30 dS m^{-1} , dok je kod površinske vode MAE iznosila 0,63 dS m^{-1} , a RMSE 0,90 dS m^{-1} .

Provedenom ANOVA-om i testiranjem značajnosti razlika između grupa Tukey HSD *post-hoc* testom nisu utvrđene statistički značajne razlike aritmetičkih sredina EC_w dobivene VPS i laboratorijskim ispitivanjima niti na jednoj od lokacija u površinskim i podzemnim vodama (Tablica 1.).



Slika 2. Grafički prikaz validacije mjerenja EC_w u (A) površinskoj i (B) podzemnoj vodi na MP Vidrice



Slika 3. Grafički prikaz validacije mjerenja EC_w u (A) površinskoj i (B) podzemnoj vodi na MP Luke

ZAKLJUČAK

Provedenim istraživanjem unutar dva MP u dolini rijeke Neretve (Vidrice i Luke) analizirana je mogućnost primjene *in situ* kontinuiranog monitoringa zaslanjenosti površinskih i podzemnih voda. Rezultati mjerenja EC_w dobiveni primjenom VPS validirani su rezultatima koji su dobiveni laboratorijskim ispitivanjima. Najviše vrijednost R^2 i najniže vrijednosti pogrešaka MAE i RMSE utvrđeni su u površinskoj vodi unutar MP Vidrice ($R^2 = 0,98$; $MAE = 0,14 \text{ dS m}^{-1}$; $RMSE = 0,17 \text{ dS m}^{-1}$). Unutar MP Luke visoka vrijednost R^2 utvrđena je i u podzemnoj ($R^2 = 0,95$) i u površinskoj vodi ($R^2 = 0,87$). Najniža vrijednost R^2 (0,52) i najveće pogreške utvrđene su u podzemnoj vodi na MP Vidrice pri čemu su značajnije razlike zabilježene u dva mjeseca izvanvegetacijskog razdoblja (listopad i prosinac) i mogu biti posljedica različite dubine uzorkovanja vode za laboratorijska ispitivanja u odnosu na dubinu na kojoj je VPS fiksirana u piezometru. Dobiveni rezultati ukazuju na mogućnost implementacije i korištenja suvremenih tehnologija kao što su VPS za kontinuirani monitoring zaslanjenosti površinskih i podzemnih voda uz pravilnu i redovitu kalibraciju mjerne opreme i osiguravanje istih uvjeta (primjerice dubina uzorkovanja) što u konačnici može doprinijeti donošenju adekvatnih i pravovremenih odluka prilikom upravljanja osjetljivim sustavima kao što su riječne delte.

ZAHVALA

Istraživanje prezentirano u okviru ovog rada sufinancirano je projektom „Monitoring zaslanjenja voda i poljoprivrednih tala na području doline Neretve“ koji je financiran od strane Hrvatskih voda. Istraživanje je također podržano sredstvima Europskog fonda za regionalni razvoj kroz projekt „Napredni sustav motrenja agroekosustava u riziku od zaslanjivanja i onečišćenja“ - DELTASAL (KK.05.1.1.02.0011) te sredstvima Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost Republike Hrvatske.

LITERATURA

- [1] Bindoff, N., L., Willebrand, J., Artale, V., Cazenave, A., Gregory, J., M., Gulev, S., Hanawa, K., Le Quere, C., Levitus, S., Nojiri, Y., Shum, C., K., Talley, L., D., Unnikrishnan, A., S. (2007). Observations: oceanic climate and sea level. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental
- [2] Church, J., A., Clark, P., U., Cazenave, A., Gregory, J., M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M., A., Milne, G., A., Nerem, R., S., Nunn, P., D., Payne, A., J., Pfeffer, W., T., Stammer, D., Unnikrishnan, A., S. (2013). Sea Level Change. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press
- [3] Domazetović, F., Lončar, N., Šiljeg, A. (2017). Kvantitativna analiza utjecaja porasta razine Jadranskog mora na hrvatsku obalu: GIS pristup. Naše more. 64(2). 33-43
- [4] Krvavica, N., Gotovac, H., Lončar, G. (2021). Salt - wedge dynamics in microtidal Neretva River estuary. Regional Studies in Marine Science. 43. 101713

- [5] Ljubenkov, I., Vranješ, M. (2012). Numerical model of stratified flow - case study of the Neretva riverbed salination (2004). *Journal of the Croatian Association of Civil Engineers*. 64(2). 101-113
- [6] O'Grady, J., Zhang, D., O'Connor, N., Regan, F. (2021). A comprehensive review of catchment water quality monitoring using a tiered framework of integrated sensing technologies. *Science of The Total Environment*. 765. 142766
- [7] Rhoades, J., D. (1993). Electrical Conductivity Methods for Measuring and Mapping Soil Salinity. *Advances in Agronomy*. 49. 201-251
- [8] Pasika, S., Gandla, S. (2020). Smart water quality monitoring system with cost - effective using IoT. *Heliyon*. 6 (7). e04096.
- [9] Romić, D., Romić, M., Zovko, M., Ondrašek, G., Bubalo Kovačić, M., Bakić Begić, H., Filipović, L., Maurović, N., Kranjčec, F., Reljić, M., Vranješ, M., Srzić, V. (2009. - 2022.): Monitoring zaslanjenja voda i poljoprivrednih tala na području doline rijeke Neretve. *Godišnja izvješća u razdoblju 2009. - 2022.* Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet
- [10] Romić, D., Zovko, M., Bubalo Kovačić, M., Ondrašek, G., Bakić Begić, H., Romić, M. (2019). PROCESI, DINAMIKA I TREND ZASLANJIVANJA VODA I TLA U POLJOPRIVREDNOM PODRUČJU DOLINE RIJEKE NERETVE. 7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA. HRVATSKE VODE U ZAŠTITI OKOLIŠA I PRIRODE. 30.5.-1.6.2019., Opatija, str. 783-791
- [11] Romić, D., Castrignano, A., Romić, M., Buttafuoco, G., Bubalo Kovačić, M., Ondrašek, G., Zovko, M. (2020). Modelling spatial and temporal variability of water quality from different monitoring stations using mixed effects model theory. *Science of The Total Environment*. 704; 1-10
- [12] Zovko, M., Romić, D., Colombo, C., Di Iorio, E., Romić, M., Buttafuoco, G., Castrignano (2018). A geostatistical Vis-NIR spectroscopy index to assess the incipient soil salinization in the Neretva River valley, Croatia. *Geoderma*. 332. 60-72

AUTORI

Marko Reljić, mag. ing. agr. ^a

izv. prof. dr. sc. Monika Zovko ^a

doc. dr. sc. Marina Bubalo Kovačić ^a

prof. dr. sc. Davor Romić ^a

^a Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, Zagreb, 10000, Hrvatska, mreljic@agr.hr, mzovko@agr.hr, mbubalo@agr.hr, dromic@agr.hr



R 1.31.

ANALIZA UTJECAJA PLIMNIH OSCILACIJA NA INFILTRACIJU U SUSTAV ODVODNJE VIDRICE

Gordon Gilja, Vice Bralić, Marko Reljić, Neven Kuspilić

SAŽETAK: Sustav površinske odvodnje unutar poldera služi za prikupljanje vlastitih i vanjskih voda - oborina koje dotječu površinski i podzemnih voda koje se potpovršinski procjeđuju. Višak vode iz kanala se u cikličkom režimu rada crpi u recipijent, pri čemu se vodostaj u kanalima snižava i omogućuje infiltracija podzemnih voda. Istraživanje se provodi na sustavu odvodnje poldera Vidrice koji se nalazi na području doline Neretve. U polderu su u sklopu provedbe projekta DELTASAL postavljene 4 vodomjerne postaje koje kontinuirano mjere vodostaj duž glavnog kanala i na jednom lateralnom kanalu. Dostupni podaci su vodostaji u kanalskoj mreži, plimne oscilacije i geometrija kanala. Podaci o vodostaju obrađeni su filtracijom kako bi se uklonili šumovi te analizirani statističkim metodama. Obrađeni podaci će se koristiti za utvrđivanje korelacijskog odnosa između hidroklimatskih parametara i režima voda na karakterističnim profilima kanalske mreže. Cilj rada je analizirati režim voda u glavnom odvodnom kanalu poldera za cijeli raspon vodostaja i izračunati dotok vode u kanalsku mrežu pri različitim razinama mora. Analiza je fokusirana na ljetno razdoblje kako bi se procijenio doprinos oscilacija razine mora u vrijeme kada nema utjecaja oborina, odnosno površinskog otjecanja na režim voda.

KLJUČNE RIJEČI: Odvodnja, Neretva, Vidrice, DELTASAL

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF TIDAL OSCILLATIONS ON INFILTRATION IN THE VIDRICE DRAINAGE SYSTEM

ABSTRACT: The surface drainage system within the polder is used for collecting internal and external excess water - surface and subsurface flows into the canals. Excess water is pumped from the canal into the recipient in a cyclic mode of operation, in turn lowering the water level in the drainage network and allowing for groundwater infiltration. This research is conducted in the drainage system of the Vidrice polder located in the Neretva valley. Four hydrological stations that continuously measure the water level along the main canal and one characteristic lateral channel were installed in the polder. Data obtained and processed include water levels in the canal network, tidal oscillations and canal geometry. The water level data were filtered to remove noise and analyzed using statistical methods. The processed data will be used for determining the correlation between hydroclimatic parameters and water regime for the characteristic profiles of the

canal network. The aim of the research is to analyze the water regime in the main drainage canal of the polder for the entire range of water levels and to calculate the inflow of water into the canal network at different sea levels. The analysis is focused on the summer period in order to assess the contribution of tidal oscillations at a time when there is no influence of precipitation or surface runoff on the water regime.

KEYWORDS: Drainage, Neretva, Vidrice, DELTASAL

1. UVOD

Za održivu poljoprivrednu proizvodnju neophodno je učinkovito gospodarenje vodnim režimom slatkovodnih resursa, pri čemu je potrebno uvažiti i potrebe drugih korisnika. Poljoprivredne površine smještene u polderima su specifične zbog položaja ispod razine mora, zbog čega su izložnije poplavama i utjecaju mora, što posljedično utječe na njihovu produktivnost. Potencijalni utjecaji globalnih klimatskih promjena uključuju promjene u prostornom i vremenskom rasporedu oborina i otjecanja, kao i oscilacijama razine mora, čineći poldere posebno izloženima ekstremnim vremenskim prilikama (Eden i drugi, 2018). U Primorskoj Hrvatskoj uočeno je značajno povećanje srednje temperature zraka za 1 °C od 1961. godine, praćeno povećanjem površinske slanosti mora (CHANGE WE CARE, 2021), dok regionalni klimatski modeli predviđaju daljnje povećanje temperature u rasponu između 0,5 °C i 3,5 °C (Gajić - Čapka i drugi, 2018). Za postizanje sigurne poljoprivredne proizvodnje koja je otporna na klimatske promjene, ključno je upravljanje hidrotehničkim građevinama u svrhu reguliranja vodnog režima (Šimunović i drugi, 2022). Infrastruktura koja stari, u kombinaciji s porastom stanovništva i klimatskim promjenama, predstavlja značajan rizik za poljoprivredu budući da su crpne stanice često veliki potrošači energije i predstavljaju dodatne rizike za okoliš (Nowak i drugi, 2022). Upravljanje rizicima se temelji na dostupnim podacima o utjecajnim parametrima, što kod sustava površinske odvodnje primarno podrazumijeva praćenje vodostaja na mjerodavnim lokacijama, uz integraciju podataka drugih senzora (Bekić i drugi, 2019).

Delta rijeke Neretve je najveće riječno ušće u Hrvatskoj (Slika 1), krajem 19. stoljeća odabrano za poljoprivrednu proizvodnju zbog blage mediteranske klime te pogodnosti tla za intenzivnu poljoprivredu. Navodnjavanje u delti Neretve suočava se s izazovima povezanim s režimom voda Neretve koji karakteriziraju produljena razdoblja malih voda u sušnom razdoblju (Vranješ i Romić, 2011), što olakšava intruziju slane vode u deltu (Krvavica i drugi, 2021), uključujući područje poldera (Ljubenković i Vranješ, 2012), što je rezultiralo zaslanjivanjem tla i smanjenjem poljoprivrednih prinosa. Istraživanja (Deković, 2015) utjecaja oborina i crpljenja na vodostaj u pijezometrima pokazuju da plitki piezometri trenutno reagiraju na oborine i crpljenje, a duboki na oscilacije razine mora, što ukazuje na visok potencijal salinizacije tla. Cilj ovog rada je analizirati režim voda u glavnom odvodnom kanalu poldera za cijeli raspon vodostaja i izračunati dotok vode u kanalsku mrežu pri različitim razinama mora. Analiza je fokusirana na ljetno razdoblje kako bi se procijenio doprinos oscilacija razine mora u vrijeme kada nema utjecaja oborina, odnosno površinskog otjecanja na režim voda.



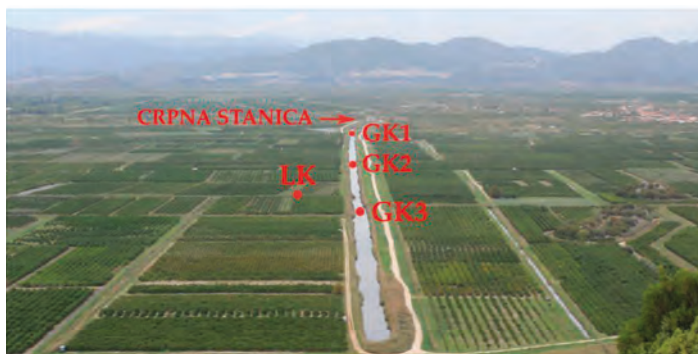
Slika 1. Pregledna situacija

2. STUDIJA SLUČAJA

Mreža kanala poldera Vidriće sastoji se od jednog glavnog odvodnog kanala (duljine 9,4 km) i 9 kanala 2. reda (ukupne duljine 20,64 km). Glavni kanal je pravocrtne trase i jednolikog oblika, dubine do 5 m i širine do 30 m, a završava na crpnoj stanici ukupnog kapaciteta do 7,5 m³/s. Crpna stanica radi ciklički, noću između 22 sata do 7 sati narednog dana, uz iznimku dana s obilnim oborinama kada je potrebno produžiti vrijeme crpljenja. U sklopu projekta DELTASAL - „Napredni sustav motrenja agroekosustava u riziku od zaslanjivanja i onečišćenja“ (Gilja i drugi, 2021), uspostavljen je sustav automatskog kontinuiranog praćenja režima i kakvoće površinske i podzemne vode na referentnim lokacijama (Gilja i drugi, 2023). Podaci prikupljeni u okviru monitoringa kontinuirana su mjerenja vodostaja površinskih i podzemnih voda u stvarnom vremenu, kao i mjerenja kvalitete vode, koja obuhvaćaju procese u tlu i vodi na različitim razinama (Reljić i drugi, 2023). Glavni cilj projekta je prikupljati prostorno i vremenski podatke o kvaliteti vode i tla multisenzorskim učestalim motrenjem za predviđanje procesa i predlaganje rješenja za upravljanje sustavom u riziku od zaslanjenja i onečišćenja.

Sustav za praćenje režima površinskih voda sastoji se od 4 vodomjerne stanice - tri od njih (GK1, GK2 i GK3) nalaze se na glavnom kanalu, pri čemu njihove pozicije odražavaju glavne točke dotoka iz kanala 2. reda, a jedna stanica nalazi se na karakterističnom kanalu 2. reda (LK), neposredno uz pilot parcelu (slika 2). Stanice za praćenje su komercijalno dostupne HydroStation stanice (<https://www.geolux-radars.com/>) opremljene radarskim senzorom razine LX-80 (razlučivost 0,5 mm, točnost +/-2 mm), radarom površinske brzine RSS-2-300 W (raspon 0,02 m/s do 15 m/s, razlučivost 0,001 m/s, točnost 1%) i SmartObserver Datalogerom za prijenos podataka u stvarnom vremenu, a sve napaja solarni panel. Sva mjerenja prikupljaju se i sinkroniziraju u intervalima od 15 minuta i prenose u stvarnom vremenu na sučelje temeljeno na oblaku za daljinski pristup. Sustav praćenja je dio modularnog praćenja automatiziranih sustava kontinuiranog praćenja kvalitete vode (ACMS), odnosno može se nadograditi kako bi se omogućilo praćenje

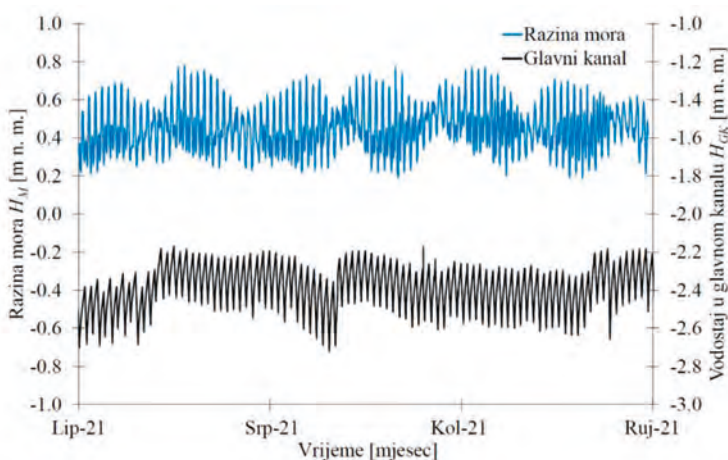
parametara podzemne i površinske vode (razina vode, temperatura, EC, itd.). Hidrostanice su instalirane u studenom 2020. godine i od tada su u neprekidnom radu.



Slika 2. Pogled na polder Vidrice s lokacijom hidrostanica

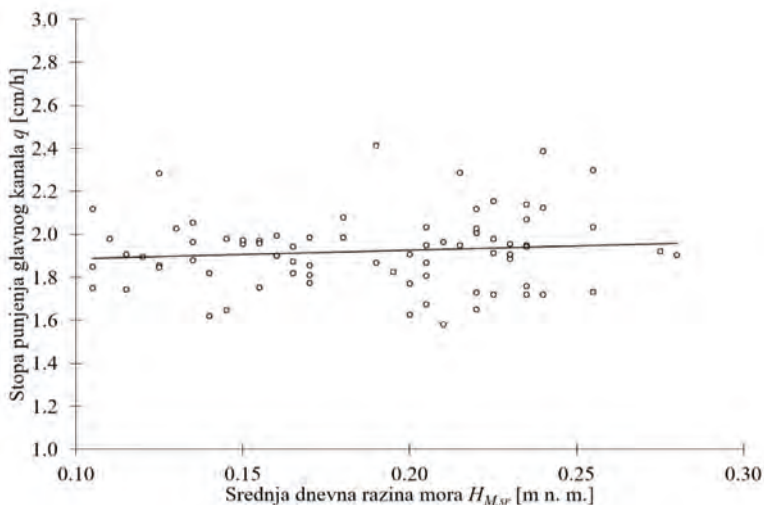
3. REZULTATI

Ulazni podaci za analizu su podaci o vodostaju i površinskoj brzini toka, prikupljeni s hidrostanica. Analiza je reducirana na sušno razdoblje, kada je utjecaj površinskog otjecanja na vodostaj u kanalima minimalan. Analiza oborina pokazuje da u ljetnom razdoblju kumulativna mjesečna oborina ne prelazi 100 mm, a u razdoblju provedbe projekta (od 2020. godine) ne prelazi 75 mm. U svrhu određivanja zavisnosti dotoka u kanalsku mrežu analizirani su podaci o vodostaju u glavnom kanalu i oscilacijama razine mora (slika 3). Izračunane su karakteristične vrijednosti stope punjenja kanala te karakteristični dnevni vodostaji. U ljetnom razdoblju fluktuacija vodostaja u kanalskoj mreži manja je nego za ostala godišnja doba, sa srednjim dnevnim prirastom vodostaja od 29,8 cm, a u rasponu od 24,0 cm do 57,1 cm.



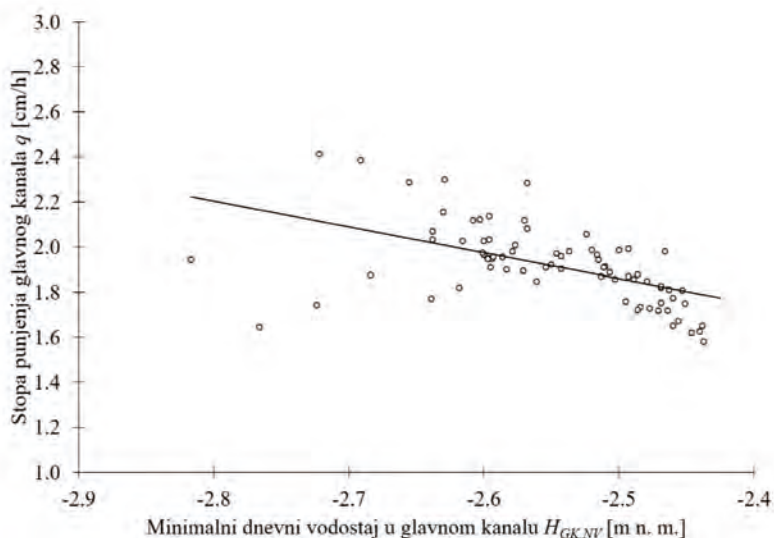
Slika 3. Podaci o vodostaju u glavnom kanalu i oscilacijama razine mora u ljetnom razdoblju 2021. godine

Kada se promotri zavisnost između srednje dnevne razina mora $H_{M,sr}$ [m n. m.] i prosječne stope punjenja glavnog kanala q [cm/h], vidljivo je da nema značajne zavisnosti iako je prisutan uzlazni trend q s porastom razine mora. Na sljedećoj slici (slika 4) prikazana je zavisnost između $H_{M,sr}$ i q s pomakom između podataka od jednog dana koja rezultira s najvećim koeficijentom korelacije dviju varijabli.



Slika 4. Zavisnost između srednje dnevne razina mora $H_{M,sr}$ i prosječne stope punjenja glavnog kanala q

Slaba zavisnost između ovih dviju varijabli je očekivana, budući da je koeficijent propusnosti tla relativno mali u odnosu na duljinu puta i hidraulički gradijent između mora i kanala. S druge strane, očekivano je da procjeđivanje iz vodonosnika u kanalsku mrežu bude brže te da je moguće opaziti odziv vodonosnika kroz vodostaje u kanalima. Na sljedećoj slici (slika 5) prikazana je zavisnost između minimalnog dnevnog vodostaja u glavnom kanalu $H_{GK,NV}$ [m n. m.] i q s pomakom između podataka od jednog dana koja rezultira s najvećim koeficijentom korelacije dviju varijabli. Vidljivo je da, iako koeficijent korelacije nije visok ($R^2 = 0,2$), postoji uzlazni trend q sa sniženjem vodostaja u kanalu.



Slika 5. Zavisnost između minimalnog vodostaja u kanalu $H_{GK,NV}$ i prosječne stope punjenja glavnog kanala q

Minimalna razina vode u kanalu posljedica je rada crpke, što znači da se može upravljati vodostajem u svrhu optimizacije razine podzemne vode u polderu. Kanalska mreža, se osim procjeđivanjem puni i površinskim otjecanjem te potencijalno može predstavljati resurs slatke vode. Vidljivo je da u sušnom razdoblju kada nema značajnijih oborina, cjelonoćni režim crpljenja drastično snižava razinu vode u kanalima i time pospešuje prihranu vodom iz vodonosnika. Ukoliko se voda u kanalima održava na maksimalnoj razini koja ne utječe na smanjenje poljoprivredne produktivnosti, moguće je smanjiti procjeđivanje iz vodonosnika i posljedično njegovo zaslanjenje.

ZAKLJUČAK

U ovom radu analiziran je utjecaj na režim voda sustavu odvodnje poldera Vidrice kojim se upravlja unaprijed definiranim režimom crpljenja. U kanalima i vodonosniku prisutno je zaslanjivanje koje utječe na poljoprivrednu proizvodnju. Provedena analiza ukazuje da crpljenje u sušnim mjesecima znatno snižava vodu u kanalskoj mreži, što korelira s povećanom stopom dotoka u kanale iz vodonosnika. Iako je zavisnost između minimalnog vodostaja u kanalu i prosječne stope punjenja glavnog kanala relativno slaba, ukazuje da bi se optimizacijom režima crpljenja moglo utjecati na smanjenje zaslanjenja površinskih i podzemnih voda u polderu.

ZAHVALA

Ovaj rad financiran je sredstvima Europske unije iz Europskog fonda za regionalni razvoj i Fonda za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost kroz projekt DELTASAL (KK.05.1.1.02.0011.).

LITERATURA

- [1] Bekić, D.; Halkijević, I.; Gilja, G.; Lončar, G.; Potočki, K.; Carević, D., (2019): *Examples of trends in water management systems under influence of modern technologies*, Građevinar, 71, 833-842, doi:10.14256/JCE.2728.2019.
- [2] CHANGE WE CARE (2021): *Adaptation/management plan for Neretva River Delta*, Climate cHallenges on coAstal and traNsitional chanGing arEas: WEaving a Cross-Adriatic Response.
- [3] Deković, J., (2015): *Interpretacija mjerenja na području Opuzen-ušće i Vidrice iz 2014. godine*, University of Split, Split.
- [4] Eden, J.M.; Kew, S.F.; Bellprat, O.; Lenderink, G.; Manola, I.; Omrani, H.; van Oldenborgh, G.J., (2018): *Extreme precipitation in the Netherlands: An event attribution case study*, Weather and Climate Extremes, 21, 90-101, doi:10.1016/j.wace.2018.07.003.
- [5] Gajić-Čapka, M.; Güttler, I.; Cindrić, K.; Branković, Č., (2018): *Observed and simulated climate and climate change in the lower Neretva river basin*, Journal of Water and Climate Change, 9, 124-136, doi: 10.2166/wcc.2017.034.
- [6] Gilja G, Kuspilić N, Lacko M, Romić D., (2023): *Reconstruction of Recharge and Discharge Pattern in the Polder Drainage Canal Network*, Hydrology, 10(3), <https://doi.org/10.3390/hydrology10030060>
- [7] Gilja, G.; Kuspilić, N.; Romić, D.; Zovko, M.; Harasti, A., (2021): *Advanced monitoring of soil salinization risk in the Neretva Delta agroecosystem*. EGU General Assembly 2021, Beč, Austria, doi:10.5194/egusphere-egu21-203
- [8] Krvavica, N.; Gotovac, H.; Lončar, G., (2021): *Salt-wedge dynamics in microtidal Neretva River estuary*. Regional Studies in Marine Science, 43, 101713, doi:10.1016/j.rsma.2021.101713.
- [9] Ljubenkov, I.; Vranješ, M., (2012): *Numerical model of stratified flow – case study of the Neretva riverbed salination*, Građevinar, 64, 101-112, doi:10.14256/JCE.639.2011.
- [10] Nowak, B.; Ptak, M.; Bartczak, J.; Sojka, M., (2022): *Hydraulic Structures as a Key Component of Sustainable Water Management at the Catchment Scale - Case Study of the Rgilewka River (Central Poland)*, Buildings, 12, doi:10.3390/buildings12050675.
- [11] Reljić, M.; Romić, M.; Romić, D.; Gilja, G.; Mornar, V.; Ondrasek, G.; Bubalo Kovačić, M.; Zovko, M., (2023): *Advanced Continuous Monitoring System—Tools for Water Resource Management and Decision Support System in Salt Affected Delta*, Agriculture, 13, doi: 10.3390/agriculture13020369
- [12] Šimunić, I.; Likso, T.; Orlović-Leko, P.; Ciglenečki, I.; Bubalo Kovačić, M.; Gilja, G.; Mustać, I., (2022): *The influence of combined drainage on the stability of agricultural production in condition of climate change*, Reliability: Theory and Applications, 17, 82-87, doi:10.24412/1932-2022-366-82-87.
- [13] Vranješ, M.; Romić, D., (2011): *Pregrađivanje rijeke Neretve*, 5. hrvatska konferencija o vodama - hrvatske vode pred izazovom klimatskih promjena, Opatija, Hrvatska, 749-760.

AUTORI

izv. prof. dr. sc. Gordon Gilja, dipl. ing. građ.^a

Vice Bralić, mag. ing. agr.^b

Marko Reljić, mag. ing. agr.^b

prof. dr. sc. Neven Kuspilić, dipl. ing. građ.^a

^a Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Hrvatska, gordon.gilja@grad.unizg.hr, neven.kuspilic@grad.unizg.hr

^b Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, Zagreb, 10000, Hrvatska, bralavrbr@gmail.com, mreljic@agr.hr



R 1.32.

HIDROGEOLOŠKA KARAKTERIZACIJA VODONOSNIKA POD TLAKOM U PODRUČJU OPUZEN UŠĆE

Veljko Srzić, Ivan Lovrinović, Iva Aljinović

SAŽETAK: Iako područje doline Neretve od Opuzena na istoku do Jadranskog mora na zapadu predstavlja područje od velikog značaja za poljoprivrednu proizvodnju, dosada provedena istraživanja ne pružaju jednoznačnu i pouzdanu hidrogeološku karakterizaciju, naročito kada se u razmatranje uzmu dublje lito - stratigrafske cjeline. Od sredine prošlog stoljeća do danas na području od interesa proveden je niz istražnih radova, poglavito u površinskom vodonosnom sloju. Postojeći monitoring sustav praćenja stanja podzemnih voda u području od interesa omogućava uvid u pijezometarska stanja podzemnih voda. U kombinaciji s istovremenim praćenjem atmosferskog tlaka zraka i plimotvornih oscilacija mora osigurana je mogućnost primjene metoda koje su zasnovane na premisi plimotvornih oscilacija. Dobiveni rezultati ovise o odabiru konceptualnog modela, a kalibracija istog omogućena je primjenom mjerenih vremenskih serija pijezometarskih stanja i razine mora. S obzirom na integralno svojstvo determiniranih vrijednosti hidrogeoloških parametara, planirani su i provedeni terenski i laboratorijski istražni radovi koji podrazumijevaju izvedbu istražnih bušotina s izuzimanjem jezgre i laboratorijskom obradom iste, primjenu geoelektričnog sondiranja i geoelektrične tomografije. Na ovaj način pouzdano se utvrđuju svojstva pojedinih vodonosnih i nepropusnih slojeva ovog obalnog sustava te se osigurava informacija o prostornoj varijabilnosti hidrogeoloških svojstava za potrebe izrade modela tečenja i pronosa soli u uvjetima varijabilne gustoće.

KLJUČNE RIJEČI: Obalni vodonosnik, Neretva, Hidrogeološki parametri, Plima i oseka, Geofizička istraživanja, Istražne bušotine

HYDROGEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE OPUZEN UŠĆE CONFINED AQUIFER

ABSTRACT: Although the area of the Neretva valley from Opuzen to the east to the Adriatic Sea to the west is an area of great importance for agricultural production, the research carried out so far does not provide a clear and reliable hydrogeological characterization, especially when deeper litho-stratigraphic units are considered. From the middle of the last century until today, a number of research works have been carried out in the area of interest, mainly in the surface aquifer. The existing system for groundwater monitoring in the area of interest enables insight into the piezometric states of groundwater. In com-

bination with the simultaneous monitoring of atmospheric pressure and tidal oscillations of the Adriatic Sea, the possibility of applying methods based on the premise of tidal oscillations is ensured. Obtained results depend on the selection of the conceptual model, while its calibration is made by applying the observed time series. Considering the integral nature of the determined values of hydrogeological parameters, field and laboratory research works were planned and carried out, i.e. the execution of exploratory boreholes and cores' laboratory processing, the application of geoelectric sounding and geoelectric tomography. In this way, the properties of individual aquifer and impervious layers of this coastal system are reliably determined, and information on the spatial variability of hydrogeological properties have been obtained for the purpose of creating models of flow and salt transport in conditions of variable density.

KEYWORDS: Coastal aquifer, Neretva, Hydrogeological parameters, Tidal fluctuations, Geophysical investigations, Exploratory boreholes

1. UVOD

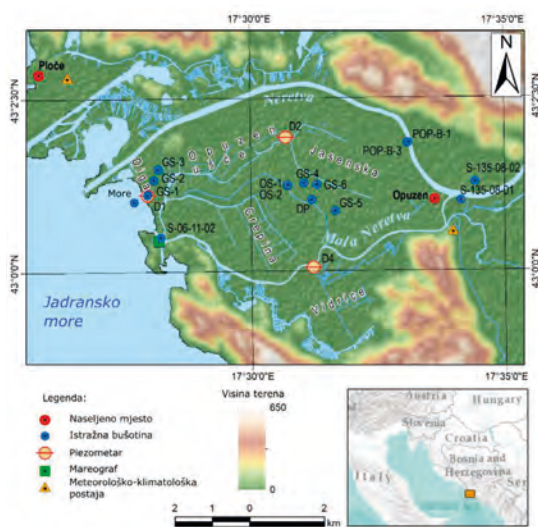
Pristupi u postupku hidrogeološke karakterizacije vodonosnih sustava različiti su i uvelike ovise o dostupnoj tehnologiji te iskustvu u postupku interpretacije podataka prikupljenih na terenu. Istražne bušotine nude deterministički uvid u lito - stratigrafsku definiciju i predstavljaju podatke prvog reda. S obzirom na visoku cijenu izvedbe i tehnološke rizike pri izvedbi dubljih bušotina, u pravilu se koriste u kombinaciji s laboratorijskim obradama izuzetih uzoraka jezgre i za verifikaciju rezultata geofizičkih metoda. Za razliku od ovog metodološkog pristupa, konvencionalne geofizičke metode poput seizmičke refleksije i geolektrične tomografije nude 2D podatak po profilu izvedbe te su zbog relativno niske jedinične cijene vrlo popularne. S obzirom na ciljeve istražnih radova, seizmička refleksija pogodna je za determinaciju zona diskontinuiteta kao i dubinu osnovne stijene dok geolektrična tomografija nudi opis polja električnog otpora u funkciji provodljivosti medija vodonosnog sloja, stupnja saturacije i vrste tekućine kojom je vodonosni ili vodonepropusni sloj saturiran. Metode zasnovane na svojstvima plimotvornih oscilacija zasnivaju se na hipotezi kako, u slučaju povezanosti stratigrafske jedinice s morem, pijezometarsko stanje podzemnih voda u spektralnoj domeni koincidira s dugoperiodičkim oscilacijama mora. Ovakav pristup nudi integralnu determinaciju hidrogeoloških parametara poput hidrauličke vodljivosti, transmisivnosti i hidrauličke difuzivnosti. Svi navedeni metodološki pristupi ne osiguravaju kontinuiranu informaciju 3D polja heterogenosti prisutnog u prirodnim formacijama te se eventualna opis 3D polja heterogenosti svodi na prostorne interpolacije i geostatističke metode u uvjetima izražene anizotropije, izražene heterogenosti, postojanja rasjeda i slično.

2. METODOLOGIJA

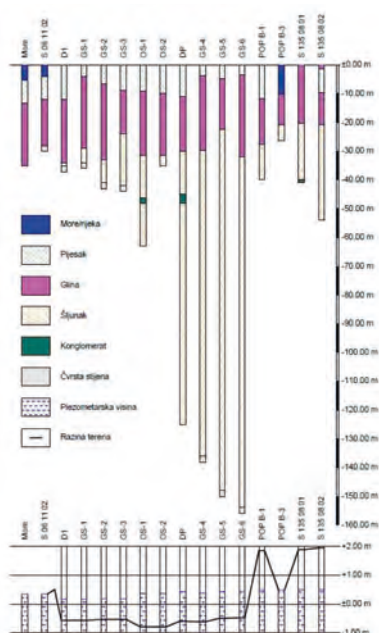
Rad se zasniva na rezultatima i unaprijeđenom sustavu monitoringa stanja podzemnih voda u području od interesa (Srzić i dr. 2020., Lovrinović i dr., 2021; Lovrinović i dr., 2022) i provedenim istražnim radovima (Geokon 2005., 2008. i 2013.). Kako je vidljivo na Slici 1. u području doline rijeke Neretve, od Opuzena na istoku do Jadranskog mora na zapadu, prethodno su provedeni istražni radovi u obliku izvedbe istražnih bušotina čime

je kvalitativno determinirana lito - stratigrafska definicija obalnog vodonosnog sustava ovog područja (Slika 2.). U okviru primarne lito - stratigrafske definicije utvrđeno je postojanje četiriju cjelina: i) plitki vodonosni sloj sačinjen od sitnog pijeska s primjesom gline, ii) glineni sloj varijabilne debljine, iii) zaglinjen šljunčani sloj do osnovne stijene i iv) lokalno prisutan konglomerat.

Nastavno na istražne radove izvršena je prilagodba sustava monitoringa kako bi se osigurala uporabljivost opaženih vremenskih serija piježometarskih stanja u dubljem vodonosnom sloju pod tlakom. Sustavom monitoringa za potrebe ovog rada obuhvaćena su: i) mjerenja piježometarskih stanja u piježometrima oznaka D1, D2 i D4 penetriranih u dublji vodonosni sloj, ii) mjerenja razine mora koja obuhvaćaju plimotvorno inducirane oscilacije u kombinaciji s barotropnim pojavama i iii) atmosferski tlak zraka. Referentne vremenske serije prikupljene su tijekom kolovoza 2015. godine i prikazane na Slici 3.



Slika 1. Situacijski prikaz područja od interesa s naznakom lokacija mjernih postaja, infrastrukture sustava monitoringa podzemnih voda i lokacija istražnih bušotina



Slika 2. Stratigrafska definicija geoloških slojeva obalnog vodonosnog sustava doline Neretve

Mjereni signal mora u osnovi je rezultat superponiranog djelovanja plimotvornih sila, atmosferskog tlaka zraka i drugih djelovanja manjih perioda (1). Plimotvorne sile karakterizirane su osnovnim dnevnim i poludnevnim konstituentima dok je signal atmosferskog tlaka zraka definiran superpozicijom trendova dužih i kraćih perioda (2). Duži trendovi u signalu tlaka zraka posljedica su gibanja zračnih masa i premještanja preko različitih geografskih lokacija. S druge strane, dnevno inducirane promjene tlaka zraka povezane su s zagrijavanjem i hlađenjem zraka u dnevnom i noćnom režimu. S ciljem zadržavanja

isključivo kontrolirano periodičkih svojstva mjerene vremenske serije, mjereni signali su detrendani i skalirani oko srednje vrijednosti čime su zadržane isključivo periodičnosti manje od uključivo dnevnih (3).

$$h_{MJERENO} = h_0 + p_{AT} + h_{P/O} + \varepsilon \quad (1)$$

$$p_A = p'_A + p''_A \quad (2)$$

$$h_{MJERENO}'(t) = p_A''(t) + h_{P/O}(t) \quad (3)$$

Pod pretpostavkom kako u uvjetima ograničenog vodonosnika koji je spojen s morem, pijezometarska razina u frekvencijskoj domeni konicidira s razinom mora, osiguran je preduvjet za korištenje metoda zasnovanih na svojstvima plimotvornih oscilacija (Ferris, 1952; Carr i Van Der Kamp, 1969).

Vodeći se navedenim, moguće je determinirati i razdijeliti utjecaje atmosferskog tlaka zraka i plimotvornih oscilacija u definiciji (3). Utjecaj atmosferskog tlaka zraka na oscilacije razine podzemnih voda utvrđuje se primjenom metode po (Rahi, 2010) dok se učinak plimotvornih oscilacija definira kao linearna superpozicija (4) sa odgovarajućim vrijednostima amplitude, perioda i faze pojedionog konstituenta koje se utvrđuju minimizacijom kvadrata odstupanja mjenenog i simuliranog signala.

$$h_{P/O}(t) = \sum_{j=1}^n a_j \sin \left[\frac{2\pi}{T_j} t + \theta_j \right] \quad (4)$$

U pogledu utjecaja na signal pijezometarskih stanja u ograničenom vodonosniku, atenuacija signala kao i kašnjenje za signalom mora dominantno su određeni hidrauličkom difuzivnošću D koja se definira kao omjer transmisivnosti T i koeficijenta zapremine S ili hidrauličkom vodljivošću K i specifičnom zapreminom S_s . Kako bi se determiniralo vrijednosti navedenih hidrogeoloških parametara u prvom koraku odbire se prikladan konceptualni model vodonosnog sustava temeljem raspoloživih podataka i rezultata istražnih radova. U drugom koraku, primjenom Monte Carlo metode uz osiguranje minimuma kvadrata odstupanja vremenske serije (3) i simulirane vremenske serije prema konceptualnom modelu definiraju se vrijednosti gore navedenih hidrogeoloških parametara.

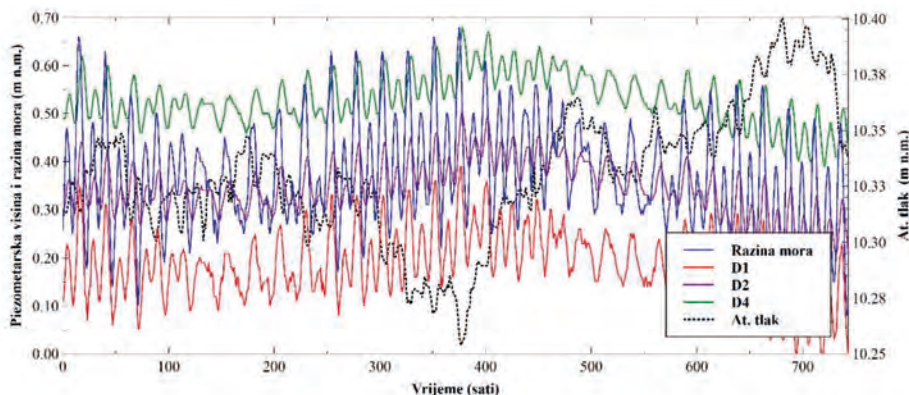
Validacija utvrđenih hidrogeoloških parametara vrši se provedbom istražnih radova u obliku izvedbe istražnih bušotina, izuzimanja uzoraka jezgre bušotina, laboratorijske obrade istih te primjenom geoelektričnih sondi i tomografije.

Bušotine se izvode bušačom garniturom do dubine od 90 m relativno u odnosu na kotu terena uz zacijevljenje. Jezgra se vadi u kampadama od po 4 m uz izuzimanje poremećenih i neporemećenih uzoraka u prethodno utvrđenim litološkim jedinicama. Neporemećeni uzorci ispituju se u triaksijalnoj ćeliji za determinaciju hidrauličke vodljivosti. Poremećeni uzorci obrađuju se granulometrijski te se iz specifičnih karakteristika zrna vrši kvantifikacija efektivne poroznosti i hidrauličke vodljivosti (Urumović i Urumović, 2016).

Paralelno uz istražne bušotine na terenu se primjenjuje geoelektrično sondiranje i tomografija iz čega se inverzijom utvrđuju parametri vodonosnih slojeva poznavanjem parametara vode kojima je porozna struktura zasićena.

3. REZULTATI

Mjereni signali razine mora, piježometarskih stanja u dubokim piježometrima oznaka D1, D2 i D4 kao i vrijednosti atmosferskog tlaka zraka prikazane su na Slici 3. Kao referentan visinski datum za iskaz visinskih kota na Slici 3. korištena je Nula Trsta. Svaki od mjerenih signala piježometarskih stanja u piježometrima nakon detrendanja opisan je efikasnošću plimotvornog učinka (TE) i kašnjenjem za signalom mora (ΔT). Za piježometar oznake D1 TE iznosi 0,566, a ΔT 1 h, dok navedene vrijednosti TE iznose 0,34 i 0,32 za piježometre D2 i D4, a ΔT iznosi 2 h i 3 h. Utvrđene karakteristike ukazuju na filtrirajući efekt vodonosnog sloja u pogledu prigušenja mjenjenog signala i kašnjenja za rubnim uvjetom.

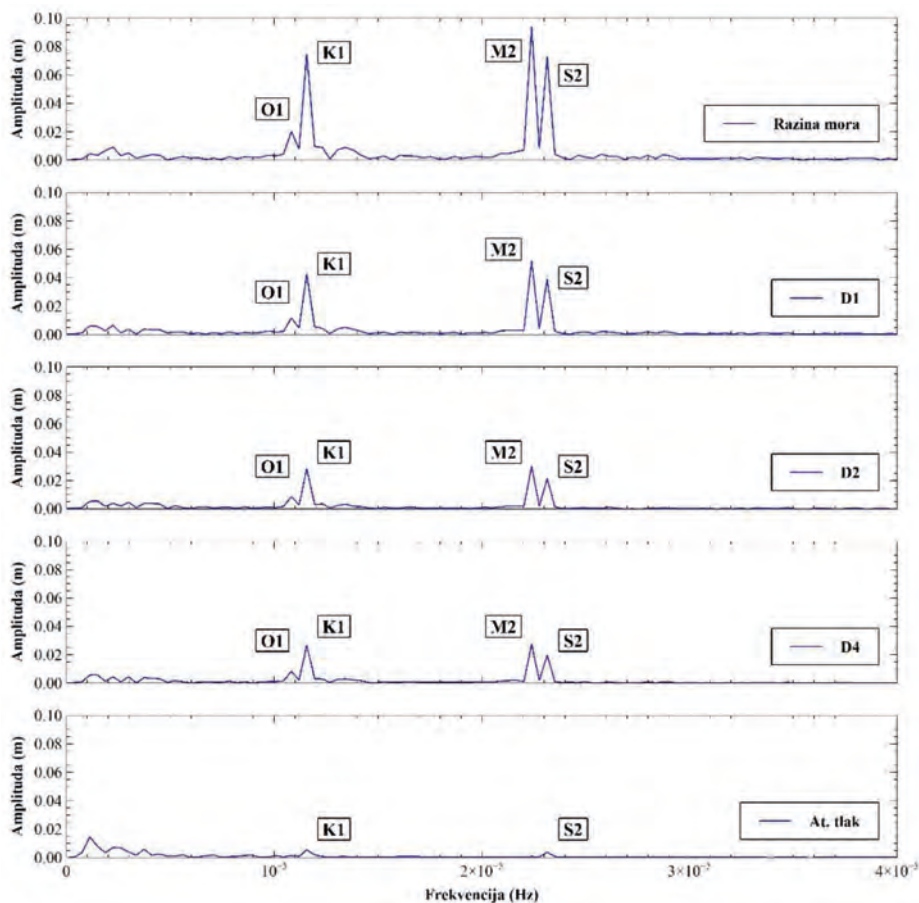


Slika 3. Prikaz mjerenih razina mora, piježometarskih stanja u piježometrima D1, D2 i D4 te atmosferskog tlaka zraka tijekom kolovoza 2015. godine

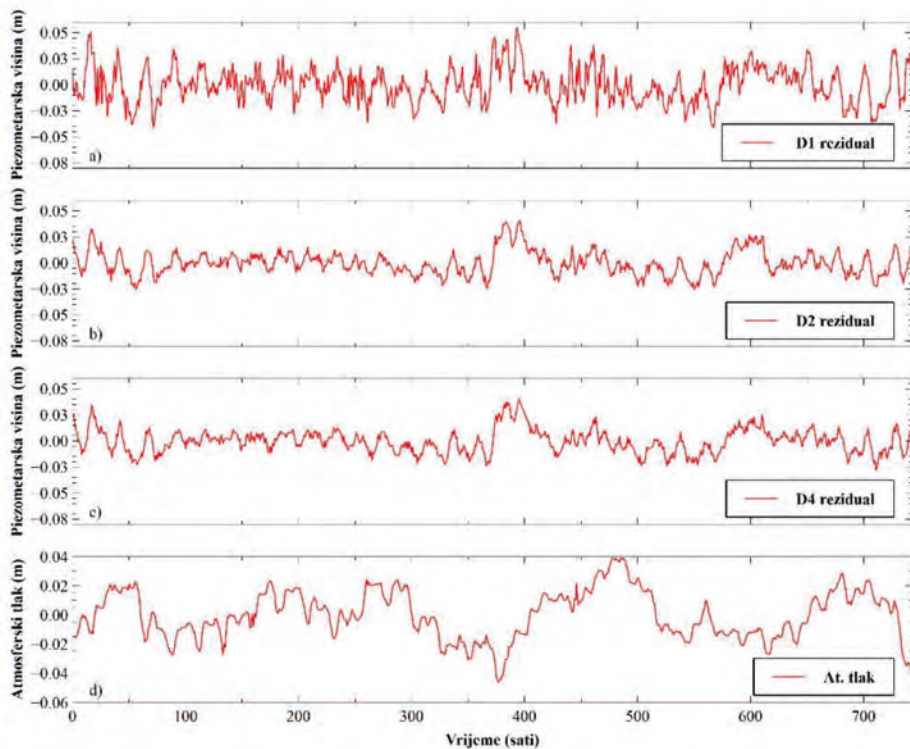
Primjenom Fourier - ove transformacije mjereni signali prebačeni u frekvencijsku domenu i u obliku spektra amplitude prikazani na Slici 4. Uvidom u svojstva signala razvidna je podudarnost u dominantnim frekvencijskim konstituentima S2, K1, M2 i O1 koji odgovaraju lunarnim i solarnim poludnevnim, odnosno dnevnim konstituentima. Opadanje u vrijednostima amplitude odgovara utvrđenim svojstvima TE. Atmosferski tlak zraka karakterističan je dominacijom poludnevnog S2 i dnevnog K1 konstituenta koji odgovaraju promjenama tlaka zraka uzrokovanim promjenama gustoće na relaciji noć - dan tijekom analiziranog razdoblja. Vrijednosti parametara amplitude, perioda i faze svakog konstituenta utvrđene su primjenom odgovarajućeg regresijskog modela te odgovaraju tipičnim vrijednostima karakterističnim za južni Jadran, odnosno mareografske postaje Dubrovnik i Ploče (Janeković i Kuzmić, 2005).

Rezidualne vrijednosti (Slika 5.) koje su kvantificirane kao razlika mjenjenog detrendanog signala i signala isključivo plimotvornih oscilacija ukazuju na prisustvo komponente atmosferskog tlaka zraka u signalu. Isti se primjenom metode po Rahiju utvrđuje u iznosu 0,24 (D1) te 0,23 (D2 i D4). Preostali dio do ukupnog signala odnosi se na učinak prijenosa tlačnih promjena uzrokovanih promjenom razine mora uslijed plimotvornih oscilacija čime se osigurava mogućnost simulacije signala u piježometrima u skladu s konceptualnim modelom vodonosnika (Xia i dr., 2007). Usporedbom simuliranog signala sačinjenog od isključivo plimotvornih oscilacija i signala piježometarskog stanja u vodonosniku pod

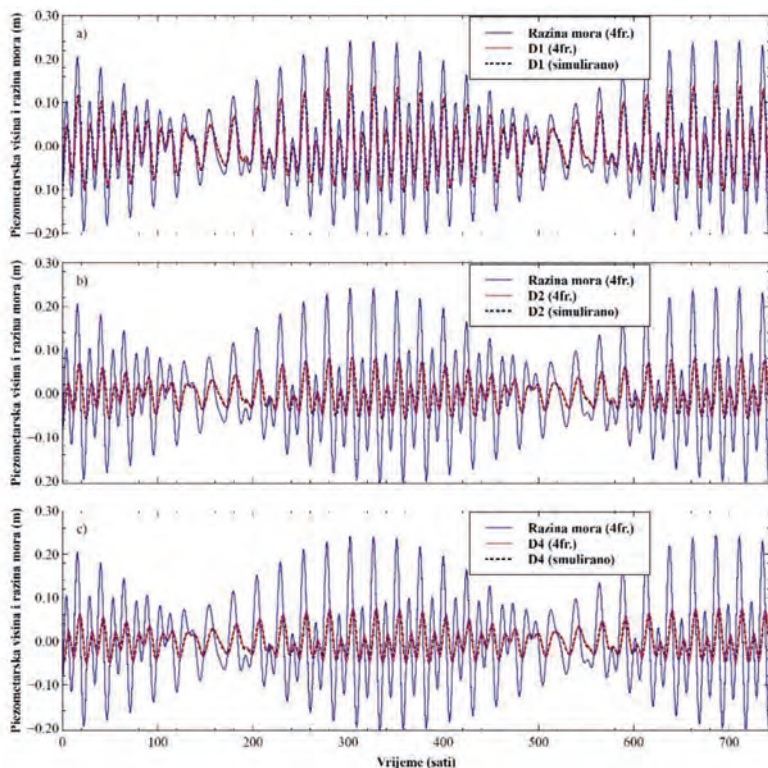
tlakom (Slika 6.) utvrđuju s vrijednosti hidrauličke difuzivnosti, hidrauličke vodljivosti, specifične zapremine, duljine glinenog sloja pod morem i procjeđivanja između vodonosnih slojeva.



Slika 4. Prikaz spektra amplitude mjerene razine mora, pijezometarskih stanja u pijezometrima D1, D2 i D4 te atmosferskog tlaka zraka za kolovoz 2015. godine



Slika 5. Prikaz rezidualnih vrijednosti mjerene razine mora, piježometarskih stanja u piježometrima D1, D2 i D4 te atmosferskog tlaka zraka za kolovoz 2015. godine

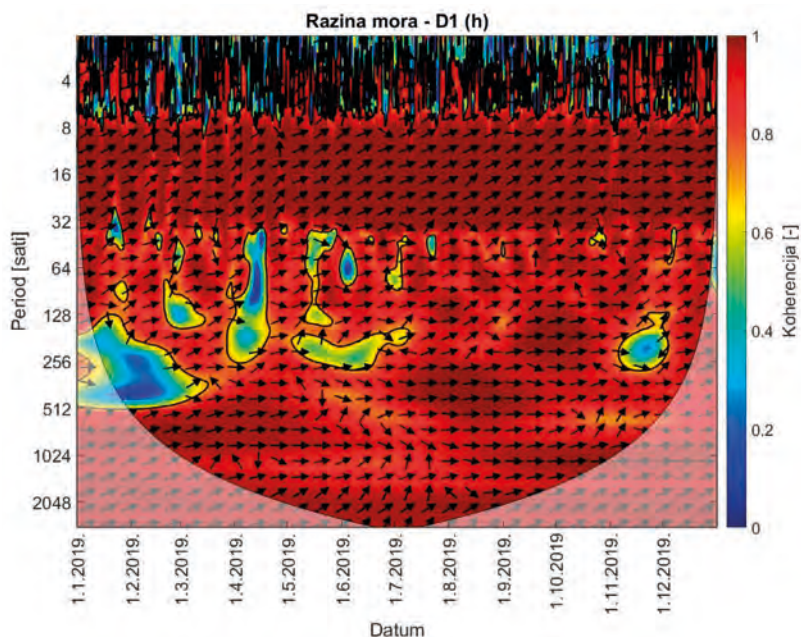


Slika 6. Prikaz pijezometrijskih stanja u pijezometrima D1, D2 i D4 i razine mora za kolovoz 2015. godine - simulacija prema konceptualnom modelu i (4)

Duljina glinenog sloja pod morem utvrđena je u iznosu od 1.400 do 1.500 m relativno u odnosu na obalnu crtu na području Dige. Uzimajući u obzir batimetrijska svojstva u akvatoriju ispred područja istraživanja razvidno je kako je na navedenoj udaljenosti detektirana dubina od 20 - 25 m što odgovara dubinskom položaju donjeg ruba glinenog sloja. Procjeđivanje između površinskog vodonosnog sloja sa slobodnim vodnim licem i dublji vodonosnog sloja pod tlakom normirano sa koeficijentom zapremine je zanemarivo i iznosi $1/\text{dan}$. Za uvid u fizikalno značenje dobivene vrijednosti potrebno je dati uvid u vrijednosti koeficijenta zapremine aluvijalnih formacija koje se kreću u rasponu 10^{-6} do 10^{-4} . Uzimajući u obzir kako vrijednost parametra procjeđivanja ima isti red veličine kao koeficijent zapremine, zaključuje se kako je procjeđivanje u vertikalnom smjeru između slojeva zanemarivo, što potvrđuje stupanj ograničenja ovog vodonosnog sloja. Za potrebe uvida u stupanj ograničenja vodonosnika pod tlakom prikazana je Slika 7. Bez obzira na činjenicu kako je u razmatranje uzeta cijela 2019. godina s ostvarenjem većeg broja kišnih događaja, pokazuje se značajna korelacija razine mora i pijezometrijskog stanja u D1 i to za frekvencije puludnevnog i dnevnog karaktera uz kašnjenje signala u D1 za morem od 1 do 2 h čime se demonstrira stupanj ograničenja ovog vodonosnog sloja i dodatno doprinosi minimizaciji procjeđivanja između različitih vodonosnih slojeva. Vrijednosti hidrauličke difuzivnosti razlikuju se značajno od pijezometra do pijezometra.

Za pijezometar D1 utvrđena je vrijednost difuzivnosti $D = 470 \text{ m}^2/\text{s}$, za D2 $D = 1.500 \text{ m}^2/\text{s}$ dok u D4 ista iznosi $D = 235 \text{ m}^2/\text{s}$. Tumačenja utvrđenih razlika treba potražiti u prostornim varijacijama specifične zapremine i hidrauličke vodljivosti vodonosnika te debljine vodonosnog sloja na lokacijama pijezometara.

Vrijednosti specifične zapremine utvrđuju se iz poznatih vrijednosti stišljivosti i gustoće vode te se kreću u rasponu $2,87 \times 10^{-6}$ do $4,98 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$. Po utvrđenju specifične zapremine iz hidraulike difuzivnosti utvrđuju se vrijednosti hidrauličkog konduktiviteta u rasponu od $7,0 \times 10^{-4}$ do $7,5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$.



Slika 7. Koherencijski model vremenskih serija razine mora i pijezometarskog stanja u D1 izmjerenih tijekom 2019. godine

Za potrebe validacije prethodno utvrđenih vrijednosti hidrogeoloških parametara korišteni su podaci terenskih istražnih radova, laboratorijskih obrada izuzetih uzoraka jezgre i interpretacije geofizičkih metoda. Za potrebe utvrđivanja hidrauličke vodljivosti izuzeti uzorci jezgre obrađeni su na dva načina. Neporemećeni uzorci ispitani su u triaksijalnoj ćeliji dok su poremećni uzorci granulometrijski obrađeni sukladno metodologiji (Urumović i Urumović, 2016) s ciljem utvrđivanja efektivne poroznosti. Iz efektivne poroznosti i karakterističnih vrijednosti zrna primjenom Kozeny - Carman metode (Chapuis i Aubertin, 2003) utvrđene su vrijednosti hidrauličke vodljivosti. Usporedbom tako dobivenih vrijednosti s onima utvrđenim primjenom konceptualnog modela (Xia i dr., 2007) evidentna je kvantitativna i kvalitativna podudarnost.

Informacije istražnih bušotina u kombinaciji s rezultatima geofizičkih metoda, geoelektrične tomografije i sondiranja, korišteni su u postupku validacije stupnja ograničenja vodonosnika pod tlakom. Na ukupno 45 geoelektričnih sondi i 6,30 km geoelektrične

tomografije izostaje informacija o eventualnom prekidu glinenog sloja. Ista je na cijelom području istraživanja utvrđena s debljinom u rasponu od 10 do 25 m uz utvrđenu vrijednost hidrauličke vodljivosti tijekom ispitivanja u triaksijalnoj ćeliji u iznosu od 10^{-9} m/s.

ZAKLJUČAK

U radu je prikazan postupak primjene metode zasovane na plimotvornim oscilacijama u postupku hidrogeološke karakterizacije obalnog vodonosnog sustava. Do sada provedeni istražni radovi nisu dali potpun opis lito - stratigrafske definicije vodonosnog sustava područja doline Neretve od Opuzena na istoku do Jadranskog mora na zapadu. S obzirom na činjenicu o postojanju sustava monitoringa, isti je, uz odgovarajuće prilagodbe korišten kao osnova za potrebe hidrogeološke karakterizacije. Provedbom prikazane analize utvrđeno je postojanje četiriju dominantnih slojeva do osnovne stijene. Nakon odabira odgovarajućeg konceptualnog modela utvrđeno je kako se sloj gline pruža do 1.400 - 1.500 m u more, relativno u odnosu na obalnu crtu na području Dige. Inicijalna pretpostavka o postojanju kompaktnog glinenog sloja na području istraživanja, evidentirana je kroz zanemarive vrijednosti vertikalne komponente procjeđivanja između vodonosnih slojeva. Vrijednosti hidrauličke vodljivosti vodonosnika pod tlakom kreću se u rasponu $7,0 \times 10^{-4}$ do $7,5 \times 10^{-3}$ m/s.

Validacija determiniranih hidrogeoloških parametara provedena je provedbom istražnih bušotina i primjenom geofizičkih metoda, čime je neosporno osiguran uvid u postojanje kompaktnog glinenog sloja jako male vrijednosti hidrauličke vodljivosti. Ovaj sloj, neovisno o primjenjenoj metodi, evidentiran je na cijelom području obuhvata.

Ispod sloja gline, detektiran je sloj šljinka široke granulacije s primjesom gline. Ovaj sloj pokazuje jako visoku razinu povezanosti s morem kroz analizu karakterističnih konstituenta u frekvencijskoj domeni.

LITERATURA

- [1] Carr, P.A.; Van Der Kamp, G.S. (1969): *Determining aquifer characteristics by the tidal method*. Water Resour. Res., 5, 1023–1031, doi:<https://doi.org/10.1029/WR005i005p01023>.
- [2] Ferris, J.G. (1952): *Cyclic fluctuations of water level as a basis for determining aquifer transmissibility*; Washington, D.C.
- [3] GEOKON Zagreb PLC.(2005) *Drilling report of two pairs of piezometers downstream of the Neretva River; Zagreb, Croatia*.
- [4] GEOKON Zagreb PLC. (2008) *Geotechnical investigation works for irrigation system conceptual design downstream of the Neretva River; Zagreb, Croatia*.
- [5] GEOKON Zagreb PLC. (2013) *Geotechnical investigation works for siphon below Mala Neretva at the pumping station Prag (Vidrice); Zagreb, Croatia*.
- [6] Janeković, I.; Kuzmić, M. (2005): *Numerical simulation of the Adriatic Sea principal tidal constituents*. Ann. Geophys. 23, 3207–3218, doi:10.5194/angeo-23-3207-2005

- [7] Lovrinović, I.; Bergamasco, A.; Srzić, V.; Cavallina, C.; Holjević, D.; Donnici, S.; Erceg, J. Zaggia, L.; Tosi, L. (2021): *Groundwater Monitoring Systems to Understand Sea Water Intrusion Dynamics in the Mediterranean: The Neretva Valley and the Southern Venice Coastal Aquifers Case Studies*. Water, 13, doi:10.3390/w13040561
- [9] Lovrinović, I.; Srzić, V.; Matić, I.; Brkić, M. (2022): *Combined Multilevel Monitoring and Wavelet Transform Analysis Approach for the Inspection of Ground and Surface Water Dynamics in Shallow Coastal Aquifer*. Water, 14, 656, doi:10.3390/w14040656
- [10] Chapuis, R.P.; Aubertin, M. (2003): *Predicting the coefficient of permeability of soils using Kozeny - Carman equation*, Ecole Polytechnique de Montreal
- [11] Rahi, K.A. (2010): *Estimating the Hydraulic Parameters of the Arbuckle-Simpson Aquifer by Analysis of Naturally - Induced Stresses*, Oklahoma State University, Stillwater, OK, USA
- [12] Srzić V, Lovrinović I, Racetin I, Pletikosić F.(2020) *Hydrogeological Characterization of Coastal Aquifer on the Basis of Observed Sea Level and Groundwater Level Fluctuations: Neretva Valley Aquifer, Croatia*. Water. 2020; 12(2):348. <https://doi.org/10.3390/w12020348>
- [13] Urumović, K.; Urumović Sr., K. (2016): *The referential grain size and effective porosity in the Kozeny - Carman model*, Hydrol. Earth Syst. Sci. 2016, 20, 1669–1680, doi:10.5194/hess-20-1669-2016
- [14] Xia, Y.; Li, H.; Boufadel, M.C.; Guo, Q.; Li, G. (2007): *Tidal wave propagation in a coastal aquifer: Effects of leakages through its submarine outlet - capping and offshore roof*, J. Hydrol. 2007, 337, 249–257, doi:10.1016/j.jhydrol.2007.01.036.

AUTORI

izv. prof. dr. sc. Veljko Srzić ^a

dr. sc. Ivan Lovrinović, mag. ing. aedif. ^a

Iva Aljinović, mag. ing. aedif. ^a

^a Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, Matice hrvatske 15, 21000 Split, Republika Hrvatska, vsrzic@gradst.hr, ilovrinovic@gradst.hr, imatic@gradst.hr



R 1.33.

GEOTERMALNE VODE REPUBLIKE HRVATSKE - NEISKORIŠTENO BOGATSTVO

Alojzije Getlicher

SAŽETAK: Iako otkrivene zalihe geotermalne vode u Republici Hrvatskoj imaju geotermalni gradijent znatno veći od europskog prosjeka, još uvijek su hrvatski geotermalni resursi nedovoljno iskorišteni. Za intenziviranje iskorištavanja geotermalnih i inih voda u nas potrebno je ostvariti uvjete, te s pravilnom i sveobuhvatnom kampanjom zainteresirati gospodarske i lokalne zajednice za iskorištavanje geotermalne energije. Radi izbjegavanja možebitnih problema zbog zakonske nekonzistentnosti pri izgradnji višenamjenskih objekata, upravo kod stupnjevite uporabe geotermalnih voda koje se koriste u energetske svrhe i svrstavaju se u Zakon o rudarstvu, a termalne vode koje se koriste za potrebe liječenja, ribogojilišta i drugo u Zakon o vodama, valjalo bi svesti pod jedinstveni Zakon o rudarstvu jer su i jedne i druge posljedica toplinske energije. Usklađivanje zakonske regulative dodatno podrazumijeva definiranje metodologije za poticaje čime bi se stvorili povoljniji uvjeti za porast udjela energije iz obnovljivih izvora. To znači da bi postojeći i budući projekti za korištenje geotermalne energije dobili poticaj za realizaciju s čime bi se Republika Hrvatska, po opsegu korištenja obnovljivih izvora energije, mogla približiti ciljevima Europske unije do 2030. godine.

KLJUČNE RIJEČI: Geotermika, Geotermalno ležište, Geotermalna voda, Hortikultura, Iskorištavanje na ekonomski opravdani način

GEOHERMAL WATER IN THE REPUBLIC OF CROATIA - UNEXPLOITED ABUNDANT RESOURCES

ABSTRACT: Although discovered geothermal water reserves in the Republic of Croatia have a geothermal gradient that is significantly higher than the European average, Croatian geothermal resources are still underutilized. In order to intensify the exploitation of geothermal and other water in our country, it is necessary to meet certain conditions and launch a proper, comprehensive campaign to create interest in the exploitation of geothermal energy among economic and local communities. In order to avoid potential problems caused by legal inconsistencies regarding the construction of multi-purpose facilities, where geothermal water use for energy purposes is governed by the Mining Act, while the use of thermal water for medicinal purposes, fish farms, etc. is governed by the Water Act, they should be governed by the unified Mining Act since both are a consequence of

thermal energy. The harmonisation of the legislation further entails a definition of a methodology for incentives, which would create more favourable conditions for an increase in the share of energy from renewable sources. This means that the existing and future geothermal energy projects would receive an incentive for their implementation, which, due to the scope of use of renewable energy sources, could move the Republic of Croatia closer to the European Union objectives by 2030.

KEYWORDS: Geothermal energy, Geothermal reservoir, Geothermal water, Horticulture, Exploitation in an economically justified manner

1. UVOD

Postojeći resursi geotermalne energije u Republici Hrvatskoj, kao i diljem svijeta, rezultat su brojnih i kompleksnih geoloških procesa koji su rezultirali akumulacijom topline na dohvatljivim dubinama. U izravnoj uporabi koristi se oko 37.000 kg/s geotermalne vode čija ukupna snaga iznosi oko 9.930 MW_e. Budući da je toplina oblik energije, geotermalna energija je upravo ona energija koju možemo pridobiti iz zemljine unutrašnjosti i upotrijebiti ju u energetske ili neke druge svrhe (balneološke, poljoprivredne, hortikulture i druge). Kako je veoma velika količina topline akumulirana u unutrašnjosti Zemlje, temeljno svojstvo geotermalne energije je upravo njena obnovljivost. Ovo svojstvo proizlazi s toga što je najveći udio u ukupnom toplinskom toku Zemlje toplina stvorena radioaktivnim raspadanjem elemenata. Pritom, ne manje važnu ulogu ima i toplina iz duboke unutrašnjosti Zemlje. Zbog ekološke prihvatljivosti, geotermalna energija je, u zadnje vrijeme, postala veoma značajan čimbenik u odnosu na ostale energente. Razvitak tehnologije pridobivanja geotermalne energije mogao bi osigurati opskrbu čovječanstva energijom tijekom veoma dugog razdoblja u budućnosti.

2. POSTOJEĆI PROJEKTI

Podjela uporabe geotermalne energije izvršena je s obzirom na temperaturu ležišnog fluida. Geotermalni resursi, čija temperatura je manja od 90 °C koriste se za direktno iskorištavanje energije u toplinske svrhe, što znači da se geotermalna toplina koristi u izravnom obliku bez pretvorbe u neki drugi oblik energije. Srednjetemperaturni od 90 do 150 °C i visokotemperaturni izvori s temperaturom većom od 150 °C koriste se, u velikom broju slučajeva, za geotermalne elektrane, pa se s toga ovakav način uporabe geotermalne energije naziva indirektna uporaba. Pritom se temperatura ne koristi direktno, iako je moguće izravno korištenje, već se putem jednog od termodinamičkih procesa pretvara u mehanički rad i na poslijetku u elektro - energiju.

Zbog ekološke prihvatljivosti, geotermalna energija je, u zadnje vrijeme, postala veoma značajan čimbenik u odnosu na ostale obnovljive izvore energije. Razvitak tehnologije pridobivanja geotermalne energije mogao bi osigurati opskrbu čovječanstva energijom tijekom veoma dugog razdoblja u budućnosti. Poznati potencijal geotermalnih voda, kao i bušotine koje su potvrdile ove resurse u nas, koriste se minorno i neekonomično u odnosu na mogućnosti, stoga ih je nužno racionalizirati. To pokazuje i podatak kako njihov udio u strukturi potrošnje primarne energije u nas iznosi svega 1,7 %. To se uskoro mora promijeniti, jer je obveza Republike Hrvatske, kao članice EU, da se udio obnovljivih izvora

energije u ukupnoj energetskej potrošnji poveća za 20 %. Primjerice na lokalitetu Blato iz geotermalnog polja Zagreb koristi se samo jedan mali dio geotermalne energije, svega 1,2 % od energetskog kapaciteta ležišta. Gospodarenje vodama zahtijeva veoma visoku razinu svijesti o značaju i važnosti voda u našem prostoru, pa ju stoga smatramo veoma važnom strateškom sirovinom. Gospodarstvenici u Republici Hrvatskoj dakle, trebaju prepoznati projekte koji bi, općenito govoreći, kao energetske osnovu koristili geotermalne vode i investitore koji bi ih financirali i realizirali. Iskorištavanjem voda koristit će se nedovoljno korištena, ekološki prihvatljiva i u Republici Hrvatskoj obilna energije.

2.1. Športsko - rekreacijski centar i balneologija

Ovdje su spomenuta tri geotermalna polja u nas, koja obiluju s dovoljno energetskog potencijala, koji može biti stupnjevito iskorištavan kroz veoma dugo vremensko razdoblje, bez promjene temperature resursa, što je ekonomski opravdano i prihvatljivo kao svjetska praksa. Ta geotermalna polja su:

1. GTP Zagreb kod Kliničke bolnice Novi Zagreb (lokacija Blato južno od Save);
2. GTP Lunjkovec - Kutnjak (lokacija kraj Koprivnice);
3. GTP Velika Ciglena (lokacija kraj Bjelovara).

Naglasak je dat na Geotermalno polje Zagreb koje se sastoji od više lokaliteta koji su definirani u Glavnom rudarskom projektu i Elaboratu o rezervama. Na GP Zagreb izrađeno je ukupno 14 bušotina, a probna proizvodnja započela je 1981. bušotinom Mla-1. U spomenutom projektu na GP Zagreb predviđeno je crpljenje, iskorištavanje i utiskivanje geotermalne vode u zatvorenom cirkulacijskom sustavu kod kojega nema štetnih utjecaja na okoliš. To potvrđuje i višegodišnja proizvodnja za potrebe ŠRC Mladost čije bušotine su namjenski izrađene za potrebe Univerzijade.

Lokalitet Blato sastoji se od ukupno 7 bušotina:

- dvije proizvodne bušotine KBNZ-1A i KBNZ-1B,
- dvije utisne bušotine KBNZ-2A i KBNZ-3 α ,
- dvije mjerne bušotine KBNZ-2 i KBNZ-3B,
- jedne likvidirane bušotine KBNZ-3.

Prema tome, za buduće korištenje u Rekreacijskom centru Blato koristile bi se ukupno četiri bušotine, od kojih bi dvije bile proizvodne, a dvije utisne. Preostale dvije bušotine na lokalitetu koristile bi se kao mjerne. U rekreacijskom centru manji dio geotermalne vode koristio bi se u balneološke svrhe pa u tom dijelu proizvodno utisni sustav ne bi bio zatvoren. Na to treba posebice obratiti pažnju pri utvđivanju mjera zaštite okoliša glede zbrinjavanja krutoga otpada iz kompleksa bazena, a nakon tehnološke obrade prije utiskivanja geotermalne vode u ležište.

Lokalitet ŠRC Mladost i Blato su jedna hidrodinamička cjelina s mogućnošću maksimalne proizvodnje od 77,14 l/s. Pri realizaciji tehničko - tehnološkog rješenja treba uzeti u obzir potrebe Rekreacijskog centra Blato (65 l/s) i buduće tehnološke mogućnosti ŠRC Mladost (maksimalni protok od 12,14 l/s). Prema geološko - geofizičkim analizama i istražnim bušenjima šupljikave i propusne stijene, nosioci geotermalne vode zaliježu na cijelokupnom području grada Zagreba od Resnika na istoku do Sv. Nedelje na zapadu.

Međutim, geotermalnim ležištem, na ovom lokalitetu, smatra se samo onaj dio vodonosni-

ka za koji je hidrodinamičkim ispitivanjima utvrđeno da predstavlja jednu hidrodinamičku cjelinu, uz dodatni uvjet da ona mora imati povoljna protočna svojstva. Tim uvjetima udovoljavaju dijelovi vodonosnika površine 54 km² na području od Cvjetnog naselja, preko športskog parka Mladost i Blato, do Stupnika i Lučkog.

Maksimalna teoretska mogućnost proizvodnje uz godišnji stupanj od 100 % iznosi 2.050.000 m³/g (65 l/s). Ova varijanta predstavlja graničnu vrijednost proizvodnje ŠRC Blato koja bi se mogla iskoristiti za stvarne potrebe tehničko - tehnološkog rješenja navedenoga u projektnom zadatku. Iskorištenje raspoloživih rezervi od oko 1.009.000 m³/god predstavlja optimalnu varijantu obzirom na prosječni godišnji stupanj iskorištenja kapaciteta od 50 %. Maksimalna količina proizvodnje iskoristit će se samo u zimskim mjesecima, dok će proizvodnja u ljetnim mjesecima biti znatno manja, pa se može računati s prosječnom količinom od 32 l/s.

Na GP Zagreb izrađeno je ukupno 14 bušotina, a probna proizvodnja započela je 1981. bušotinom Mla-1. Glavnim rudarskim projektom i Elaboratom o rezervama na GPZ predviđeno je crpljenje, iskorištavanje i utiskivanje geotermalne vode u zatvorenom cirkulacijskom sustavu kod kojega nema štetnih utjecaja na okoliš. To potvrđuje i višegodišnja proizvodnja za potrebe ŠRC Mladost čije bušotine su namjenski izrađene za potrebe Univerzijade.

Jedinična toplina u toplinskim jedinicama po 1 m³ geotermalne vode iznosi ukupno 280 x 10⁶ J/m³ pri temperaturnom padu od 80 °C do središnje godišnje temperature tla u Panonu od 11,6 °C. Gornja granica temperature uzeta je kao temperatura diferencijalnoga mješanja obzirom na masene udjele proizvodnih bušotina i njihovih temperatura na ušću. Pri ovim rezervama konstantna temperatura bila bi tijekom narednih 37 godina.

Postojeća studija razrađuje tehničko - tehnološki sustav Blato, koji je u hidrodinamičkoj cjelini s lokalitetom Mladost, a razdvojen je rijekom Savom. Pod pojmom tehničkog sustava podrazumijevaju se:

- proizvodne i utisne bušotine,
- površinski cjevovodi,
- izmjenjivači topline,
- utisne pumpe.



Slika 1. Grafički prikaz značajnijih geotermalnih lokaliteta u Republici Hrvatskoj

Izvor: Meridijani, br. 132, str. 74-82, Zagreb, veljača 2009.

2.2. Hortikulturni centar

Budući da je ukrasno vrtlarstvo danas u SAD-u i razvijenim europskim zemljama jedna od najperspektivnijih grana poljoprivredne djelatnosti, a predviđaju stalan rast potražnje i u trećemu tisućljeću, moguće je oživotvoriti postojeći pilot - projekt upravo na ovoj lokaciji u sekundarnom krugu uporabe topline geotermalnoga ležišta Zagrebačke županije, Geotermalna ležišta koja su položena iznad velikih izvora geotermalne energije, čiji kapaciteti leže neiskorišteni, spomenuta županija ima najveći interes za pokretanje njihove eksploatacije i to na dva načina: na ekonomski opravdan i društveno prihvatljiv način za okruženje. Privlačnost i pogodnost ovoga projekta za potencijalnog investitora je u njegovoj sigurnosti, ekološkoj prihvatljivosti i niskom trošku energije geotermalne vode za grijanje površina za uzgoj cvijeća. Ako se ima u vidu samo cijena energije, koja je niža od cijena ostalih vrsta energenata, moguće je smanjiti operativne troškove investitora u fazi eksploatacije, povećati profitabilnost projekta i stopu povrata na uložena sredstva.

U postojećem projektu utvrđeni su minimalni ciljevi investitora kao što je dobit, koja bi nakon plaćanja poreza trebala iznositi najmanje 10 % na godinu, ako je izračunavamo u

odnosu na ukupni prihod projekta, dok bi interna stopa rentabilnosti, u odnosu na ukupni prihod projekta, trebala iznositi minimalno 12 % na kraju razmatranoga razdoblja. Napose, ovaj projekt uz sve spomenuto, putem učinka multiplikatora, nudi značajne koristi društvenom okruženju, prije svega na planu zapošljavanja stanovništva, što će utjecati na smanjenje stope nezaposlenosti. Također će se smanjiti uvoz rezanoga cvijeća uz poticaj domaćoj proizvodnji, što će zasigurno dovesti do smanjenja znatnog hrvatskog trgovinskog deficita. Stoga je moguće zaključiti kako je misija ovoga projekta, glede korištenja geotermalne energije za uzgoj i plasman cvijeća: smanjiti odljev ogromnih sredstava radi otkupa cvijeća (capital outflow), osiguranje kontinuirane cjelogodišnje opskrbe hrvatskog tržišta kvalitetnim rezanim cvijećem i lončanicama, te na taj način preuzimanje tržišnoga udjela istovrsnih uvoznih programa (oko 50 milijuna eura na godinu), izlazak na regionalno tržište, uz ostvarenje ekonomske koristi za investitore, operatore, dobavljače energije, promotore projekta i za društveno okruženje. Ispitivanja su pokazala da bi se već u roku od dvije godine u uzgoju i plasmanu rezanoga cvijeća i / ili lončanica uspjelo osvojiti znatan dio hrvatskoga tržišta, te izvršiti prodor na regionalno tržište. Već je sada moguća prodaja cjelogodišnje proizvodnje na slovenskome tržištu.

Prije izrade ekonomske i financijske analize izrađena je koncepcija projekta u idejnim tehnološkim rješenjima (izbor zaštićenoga prostora, izbor opreme za navodnjavanje i zagrijavanje i drugo) kao i scenarija za proizvodnju u I. i II. fazi radi što točnijeg određivanja budućih troškova i prihoda od ovoga projekta. U sklopu projekta, u obje faze, predviđen je uzgoj devet najtraženijih hortikulturnih vrsta biljaka u nas, a to su: gerber, anturij, kala, petunija, salvia, eustoma, krizantema, hipoestes i monstera.

Za I. fazu realizacije programa odabrane su tri visokodohodovne vrste rezanoga cijeća: gerber, anturij i kala (scenarij 1.). Za II. fazu realizacije programa obrađena je proizvodnja lončanica biljaka koje se koriste za ukrašavanje interijera, prozora i balkona: salvija, petunija, eustoma, gerbera, krizantema (scenarij 2.). Napose, u toj fazi također je objedinjen uzgoj lončanica i vrsta cvijeća za rez (mix - scenarij 3.), a u uzgoju su i dvije nove vrste - hipoestes i monstera. Sve spomenute vrste odlikuju se dobrim proizvodnim osobinama kao što su: visoki prinos, dobra kvaliteta cvijeta odnosno lista, otpornost u smislu smanjene osjetljivosti na bolesti i štetnike te dobra komercijalna svojstva kao što su transportabilnost, atraktivne boje i oblici cvijeta, velik broj sorta, ...

Za prikaz proizvodnoga programa u I. fazi, koji je radi praktičnosti prikazivanja nazvan scenarij 1, za razliku od faze II. koja u svome dijelu proizvodnoga programa ima scenarije 2. i 3, od rezanoga cijeća obrađene su tri visokodohodovne vrste: gerber, anturij i kala. Izabrane vrste veoma su tražene na domaćem i inozemnom tržištu budući da su sastavnica gotovo svih aranžmana rezanoga cvijeća. Potražnja na hrvatskome tržištu za ovim vrstama je stalna i nije podložna velikim kolebanjima tijekom kalendarske godine. Vrste su omiljene kod kupaca po svojoj dobroj izdržljivosti u vazi, kao i u brojnim sortama u najrazličitijim bojama. Poglavitno anturij ima još jednu prednost što se osim prodajom cvijeta, koji već standardno postiže izrazito visoku cijenu, dodatni prihod može ostvariti i prodajom njegovih listova. Uzgoj odabranih cvjetnih vrsta vrši se u uzgojnim posudama tijekom cijele kalendarske godine. Dok su berba i dostava na tržište kod gerbere i anturija cjelogodišnji, kala na tržište dolazi tijekom prve polovice godine odnosno u zimsko - proljetnom razdoblju kada postiže i najviše cijene.

Sustav grijanja plastenika za prijenos toplinske energije koristi izvornu geotermalnu vodu

kao radni medij, koja se u zatvorenom krugu cjevovoda dovodi u toplinsku podstanicu. S obzirom da se proizvodnja odvija na pokretnim aluminijskim stolovima za osnovni način grijanja, distribucija toplinske energije izvodi se postavljanjem cijevnih registara u prostoru ispod radne plohe stolova. Za dogrijavanje predviđen je sustav klima - komore i odgovarajući ventilacijski kanali za zagrijavanje zrakom, koji pokriva najviše do 30 % potrebnog toplinskog učinka. Distribuciju i miješanje toploga zraka po dužini plastenika obavljaju ventilatori obujma 6.100 m³/h kojih ima po 4 komada na 100 m odnosno 40 kom/ha. Realno iskoristivi toplinski učin je 7 MW.

Koncepcija energetskog izvora i sustava opskrbe toplinskom energijom plastenika temelji se na:

- korištenju geotermalnog izvora kao temeljnog izvora toplinske energije;
- osiguranju rezervnog izvora topline za slučaj ekstremnih vanjskih zimskih uvjeta;
- najkraćom trasom cjevovoda vanjskog razvoda;
- minimalnoj povratnoj temperaturi radnog medija 35 °C (20 °C);
- brzini strujanja vode u cjevovodima do 2 m/s.

ZAKLJUČAK

Lokalitet Blato koji se nalazi u južnom dijelu Grada Zagreba planski je podijeljen po GUP-u Grada Zagreba na dio koji se odnosi na Kliničku bolnicu novi Zagreb i dio gdje su bušotine geotermalnog polja. Uz bušotine predviđena je izgradnja športsko - rekreacijskog centra koji bi sadržavao ljetno i zimsko kupalište, te objekte namijenjene za šport i rekreaciju. Također je predviđena izgradnja hotela s kongresnim centrom i parkom, te apartmansko naselje s uređenim zelenim površinama i platenička proizvodnja ukrasnoga bilja.

Smještaj samog lokaliteta koji se nalazi unutar Grada Zagreba, karakteristike geotermalne vode, kapaciteta proizvodnje i mogućnosti primjene geotermalne vode, glavni su razlozi opravdanosti izgradnje aqua - parka (terme) s dodatnim sadržajima, tim više što u bližoj okolini ne postoji nešto slično.

Izgradnja samog aqua - parka kao i pratećih objekata bit će od koristi za širu društvenu zajednicu (porezi, takse i drugo).

Osim toga takav će projekt pridonijeti i otvaranju novih radnih mjesta, te utjecati na razvoj i ostalih djelatnosti (staklenici, lječilišni turizam i drugo).

Valja naglasiti da je geotermalna energija ekološki prihvatljiv energent i da porast trenda korištenja takve energije može dovesti do smanjenja potrošnje fosilnih goriva.

LITERATURA

- [1] INA - Naftaplin, CM - Expert, *Korištenje geotermalne energije za razvoj hortikulture u Zagrebu*, studija opravdanosti 1, 2, 3, Zagreb, 2000.
- [2] Alojz Getliher, *Racionalizacija uporabe geotermalnih resursa u Republici Hrvatskoj - optimiranje obnovljivoga izvora energije*, Međunarodni kongres, Energija i okoliš, str. 261-274, Opatija, 2004.
- [3] Alojz Getliher, *Obnovljiva energija za „održivi razvoj“ u Republici Hrvatskoj*, NAFTAPLIN, znanstveno - stručno glasilo HUNIG-a, br. 2, str. 10-13, Zagreb, spranj-prosinac 2004.
- [4] Alojz Getliher, *Optimiranje iskorištavanja geotermalnih voda u Republici Hrvatskoj*, NAFTAPLIN, znanstveno - stručno glasilo HUNIG-a, izv.br. str. 71-72, Okrugli stol o podzemnim vodama, Marija Bistrica, 1. prosinac 2004.
- [5] Alojz Getliher, Vladimir Cazin, Reno Muršić, *Usvajanje strategije uporabe geotermalne energije, kao obnovljivog resursa uvelike prisutnoga, ali nedovoljno iskorištavanoga za gospodarski razvitak u Republici Hrvatskoj*, 3. međunarodni znanstveno - stručni skup o naftnom gospodarstvu, NAFTAPLIN, znanstveno - stručno glasilo HUNIG-a, izv.br. str. 5 (sažetak), Zadar, 4. - 7. listopada 2005.
- [6] Alojz Getliher, Vladimir Cazin, *Geotermalna voda obnovljiv, ekološki prihvatljiv i višenamjenski energetske potencijal*, 41. hrvatski & 1. međunarodni znanstveni simpozij agronoma, Zbornik radova, str. 247, Opatija 13. - 17. veljače 2006.
- [7] Grupa autora, *Koncepcija i izvodljivost programa gospodarske uporabe geotermalne energije na lokaciji Lunjkovec - Kutnjak*, Ekonomski fakultet, Zagreb, svibanj 2006.
- [8] A. Getliher, *Geotermalna voda - obnovljiv, ekološki prihvatljiv i višenamjenski energetske potencijal*, 2. Međunarodni forum o obnovljivim izvorima energije, Dubrovnik 4. - 6. listopada 2006., EGE 1/2007, str.142-147.
- [9] Grupa autora, *Izvodljivost Programa gospodarske uporabe geotermalne energije na lokaciji Velika Ciglena*, Ekonomski fakultet, Zagreb, rujna 2007.
- [10] A. Getliher, V. Cazin, A. Feigl, M. Vučemilović, *Geotermalni izvori i procjena potrebnih ulaganja za njihovu primjenu u gospodarski razvitak Republike Hrvatske*, 4. Međunarodni znanstveno - stručni skup o naftnom rudarstvu 2. - 5. listopada. 2007. U Zadru. Naftaplin knj. 29/07. sažeci 2, str. 36.
- [11] A. Getliher „*Strategija proizvodnje i uporabe geotermalne energije u energetske razvitku Republike Hrvatske*”, XXXVIII. redovita skupština Znanstvenoga vijeća za naftu HAZU, 26. travnja 2007.
- [12] A. Getliher, A. Feigl, V. Cazin, „*Strategija proizvodnje i uporabe geotermalne energije u energetske razvitku Republike Hrvatske*”, Europski poslovni forum o obnovljivim izvorima energije, Cavtat 11. - 14. studenoga 2007.
- [13] A. Getliher, S. Horvat, „*Geothermal Water - Renewable, Ecologically Acceptable and Multipurpose Energy Potential*”, rad je predstavljen i prezentiran na 19 - tom svijetskom naftnom kongresu održanom u Madridu od 29. lipnja do 3. srpnja 2008.

- [14] A. Getliher, S. Horvat, „*Geotermalna voda - obnovljiv, ekološki prihvatljiv i višenamjenski energetski potencijal*”, Zbornik radova Međunarodnoga kongresa „*Energija i okoliš 2008*” održanom u Opatiji 22. - 24. listopada 2008. vol. II.,str. 259.-267.
- [15] A. Getliher, „*Geotermalne vode na području Grada Zagreba*”, savjetovanje „*Zagrebačke vode*” održano u Zagrebu 4. i 5. prosinca 2008.
- [16] A. Getliher, „*Geotermalni resursi Republike Hrvatske - neiskorišteno bogatstvo*”, „*Konferencija o potencijalima i mogućnostima korištenja obnovljivih izvora energije*” održanom 24. i 25. studenoga 2008. Toplice Sveti Martin,
- [17] A. Getliher, „*Potpuno neiskorišteno bogatstvo hrvatskih geotermalnih voda - ekološki čist i obnovljiv energent*”, časopis „*Meridijani*” br. 132, Zagreb, veljača 2009.

AUTOR

Alojzije Getlicher, dipl. ing. ^a

^a INA - Naftaplin, Krste Odaka 3, 10110 Zagreb, Hrvatska, getliheralozj@yahoo.com



R 1.34.

ZAŠTITA GEOTERMALNIH I MINERALNIH VODA USPOSTAVOM MONITORINGA

Daria Čupić, Hrvoje Herceg

SAŽETAK: Za uspješno integralno gospodarenje geotermalnim i mineralnim vodama nužan je monitoring kao ključan element zaštite. Prema Okvirnoj direktivi o vodama geotermalne vode se definiraju kao podzemne vode čija je temperatura veća od 20 °C, a mineralne čija je mineralizacija veća od 1 g/l. Gospodarenje geotermalnim i mineralnim vodama određuju odredbe Zakona o vodama te Zakona o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika. Najviše izvora, te brojnih bušotina nalazi se u panonskom dijelu Hrvatske. U Planu upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027. godine izdvojeno je 18 tijela geotermalnih i mineralnih voda u jednom nivou. Zbog postojanosti kakvoće ovih voda uzrokovane niskom prirodnom ranjivošću te sporih promjena potrebno je pratiti kemijsko i količinsko stanje vode kroz duža razdoblja. Monitoring kemijskog i količinskog stanja je vrlo kompleksan zbog visokih tlakova i temperatura. Specifičan je način uzorkovanja i konzervacije uzoraka. Prijedlog monitoringa obuhvaća 39 monitoring postaja. Nadzorni monitoring i kemijskog i količinskog stanja provodio bi se na istim postajama najmanje na jednoj točki opažanja po geotermalnom i mineralnom vodnom tijelu. To su većinom geotermalni izvori koji se najčešće koriste za balneologiju, pa je pristup jednostavniji ili su bušotine pod koncesijom. Ocjena kemijskog i količinskog stanja tijela geotermalnih i mineralnih voda provodi se na temelju pokazatelja standarda geotermalnih i mineralnih voda prema Uredbi o standardu kakvoće voda.

KLJUČNE RIJEČI: Monitoring, Kemijsko i količinsko stanje, Geotermalne vode, Mineralne vode, Tijela

PROTECTING GEOTHERMAL AND MINERAL WATER THROUGH THE ESTABLISHMENT OF MONITORING

ABSTRACT: Successful integrated management of geothermal and mineral water requires its monitoring as a key element of protection. According to the Water Framework Directive, geothermal water is defined as groundwater which has a temperature higher than 20°C, and mineral water as water with mineralization higher than 1g/L. Geothermal and mineral water management is defined by the provisions of the Water Act and the Hydrocarbons Exploration and Exploitation Act. The largest number of springs and boreholes is found in the Pannonian part of Croatia. The River Basin Management Plan

2022 - 2027 identifies 18 bodies of geothermal and mineral water in one level. Due to the persistent quality of such water caused by its low natural vulnerability and slow change, its chemical and quantitative status has to be monitored over longer periods. The monitoring of chemical and quantitative status is very complex due to high pressures and temperature. There is a specific method of collection and conservation of samples. The proposal of monitoring includes 39 monitoring stations. Surveillance monitoring of both chemical and quantitative status would be carried out at the same stations on at least one observation point per geothermal and mineral water body. As these are mostly geothermal springs which are most frequently used for balneology, the approach is simpler or the boreholes are under a concession. The chemical and quantitative status of geothermal and mineral water bodies is assessed based on the indicators of geothermal and mineral water standards as specified by the Regulation on water quality standards.

KEYWORDS: Monitoring, Chemical and quantitative status, Geothermal water, Mineral water, Bodies

1. UVOD

Geotermalne i mineralne vode se razlikuju od ostalih podzemnih voda prema količini otopljenih minerala i temperaturi. Prema Okvirnoj direktivi o vodama geotermalne vode se definiraju kao sve podzemne vode čija je temperatura veća od 20 °C, dok su mineralne vode podzemne vode čija je mineralizacija veća od 1g/L. Upravljanje geotermalnim i mineralnim vodama odvija se prema Zakonu o vodama (Narodne novine, broj 47/23) te Zakona o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika (Narodne novine, broj 30/21). Do 2018. godine upravljanje geotermalnim i mineralnim vodama bilo je regulirano propisima o rudarstvu u nadležnosti ministarstva nadležnog za gospodarstvo. U postupku prenošenja obveza vodnog zakonodavstva Europske unije upravljanje mineralnim i geotermalnim vodama prešlo je u nadležnost ministarstva nadležnog za vode te je Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o vodama (Narodne novine, broj 46/18) obuhvatio sve geotermalne i mineralne vode. Upravljanje i gospodarenje geotermalnim i mineralnim vodama od tada se provodi prema Zakonu o vodama (Narodne novine, br. 66/19, 84/21 i 47/23), te Zakonu o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika (Narodne novine, br. 52/18, 52/19 i 30/21). Zakon o vodama primjenjuje se za zaštitu geotermalnih i mineralnih voda u cilju očuvanja dobrog kemijskog i količinskog stanja te se odnosi na geotermalne i mineralne vode, osim kad je Zakonom ili posebnim zakonom iz upravnog područja rudarstva drugačije uređeno. Zakon o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika uređuje istraživanje i eksploataciju geotermalnih voda iz kojih se može koristiti akumulirana toplina u energetske svrhe, kao i zaštitu geotermalnih voda kada se one koriste u energetske svrhe. Najviše izvora te brojnih bušotina geotermalnih i mineralnih voda nalazi se u panonskom dijelu Hrvatske. Zbog povoljnih geoloških uvjeta na području panonskog dijela Hrvatske najveći je geotermalni potencijal te geotermalne pojave. Geotermalne pojave postoje i na dinaridskom području, a jedno od najznačajnijih mjesta je na području Istre. Usprkos relativno velikom potencijalu, iskorištavanje geotermalnih voda većinom je na niskoj razini, uglavnom za rekreacijske i balneološke svrhe. U Planu upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027. godine izdvojeno je 18 tijela geotermalnih i mineralnih voda u jednom nivou. Zbog postojanosti kakvoće ovih voda uzrokovane niskom prirodnom ranjivošću,

kako su promjene znatno sporije u odnosu na „hladne“ podzemne vode, potrebno je pratiti kemijsko i količinsko stanje vode kroz duža razdoblja. Potrebno je postaviti dobre temelje za redoviti monitoring kemijskog i količinskog stanja geotermalnih i mineralnih voda, koje je kompleksan zbog specifičnih karakteristika geotermalnih i mineralnih vodnih tijela (visokih tlakova i temperatura), te načina uzorkovanja, konzervacije uzoraka i obrade rezultata.

2. GEOTERMALNE I MINERALNE VODE

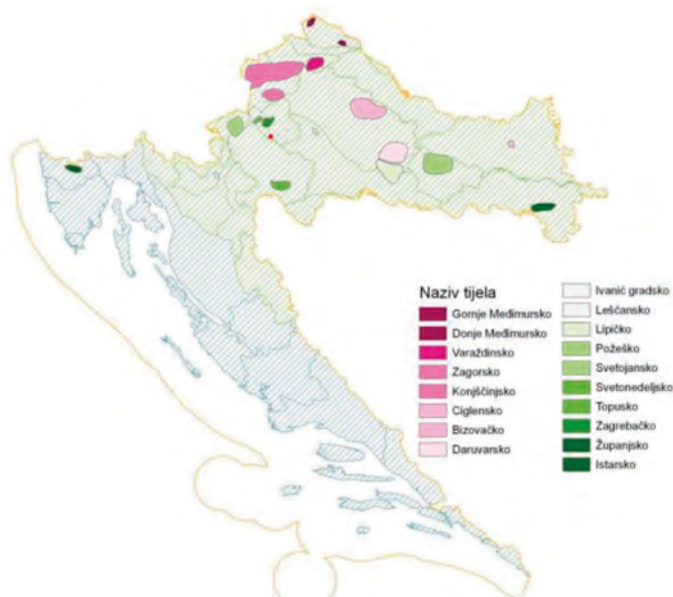
Pojava geotermalnih i mineralnih voda uvjetovana je posebnim prirodnim značajkama sredine u kojoj se nalaze i iz kojih potječu. Na području Republike Hrvatske postoje brojna izvorišta geotermalnih voda, za razliku od mineralnih izvorišta. Po geološkoj građi ističu se dva bitno različita područja koja se razlikuju i po vrijednostima geotermalnog gradijenta i gustoći toplinskog toka. Područje Panonskog bazena ima znatno veći broj pojava mineraliziranih i geotermalnih voda različitog kemijskog sastava i temperatura od Dinarida. Na temelju brojnih geoloških, hidrogeoloških i geokemijskih istraživanja dokazano je da su sve geotermalne i mineralne vode, koje se pojavljuju na prirodnim izvorima na području Republike Hrvatske, meteorskog porijekla (Pilar, 1884; Miholić, 1940, 1952, 1959; Horvatinčić et al., 1991, 1996; Marković i Kovačić, 2006; Biltuh et al., 2009; Polančec, 2011; Kapelj et al., 2014; Marković et al., 2015). Sjeverni dio teritorija RH predstavlja jugozapadnu granicu Panonskog bazena i ima visoki geotermalni gradijent - prosječno $0,049\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ i visoki površinski toplinski tok $76\text{ mW}/\text{m}^2$ (EIHP, 2018), a područje Dinarida nizak geotermalni gradijent koji u prosjeku iznosi $0,025\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ i prosječni površinski toplinski tok $29\text{ mW}/\text{m}^2$ (EIHP, 2018). Razlika je posljedica dubine do Mohorovičićevog diskontinuitet (Moho), granice između Zemljine kore i plašta. Na području Dinarida dubina do Moho varira od 32 do 46 km, a na području Panonskog bazena od 22 do 27 km (Šumanovac, 2016). Obzirom na to da se konvekcijom iz plašta toplina transportira učinkovitije nego u kori, područja gdje je plašt bliže površini imat će veći toplinski tok, što je glavni razloga da je u panonskom dijelu RH najveći geotermalni potencijal. Osim toga, na stvaranje topline unutar stijena utječu i radioaktivni raspad uranija, torija i kalija (^{238}U , ^{232}Th i ^{40}K). Najčešće se događaju unutar granita, u kojima je zbog istraživanja potencijala HDR sustava (eng. Hot Dry Rock) izmjerena prosječna količina topline koju navedeni proces oslobađa od $2,7\text{ }\mu\text{W}/\text{m}^3$ (Goldstein et al., 2009). Budući da su magmatske i metamorfne stijene (graniti, gnajsevi, itd.) prisutne u Panonskom bazenu, one također doprinose zagrijavanju podzemlja. Tečenje podzemne vode može pridonijeti brzom i učinkovitom prijenosu topline konvekcijom, naročito u zonama dubokih rasjeda duž kojih se, ukoliko se radi o propusnim rasjednim zonama, vode visokih temperatura izdižu prema površini. Ukoliko takve zone dosežu do površine terena, tada omogućavaju pojavu geotermalnih izvora. Obnavljanje podzemne vode odvija se na mjestima izbijanja propusnih naslaga na površini terena. Na području Panonskog bazena geotermalni vodonosnici su većinom izgrađeni od karbonatnih stijena trijasko starosti. Obnavljanje podzemne vode se odvija u gorskim predjelima sjeverne Hrvatske - na mjestima gdje na površinu izbijaju okršeni trijaski dolomiti i vapnenci, te gornjobadenske vapnenačke naslage koje su s njima u kontaktu. Osim spomenutih naslaga na području Panonskog bazena vodonosnike geotermalnih i mineralnih voda čine naslage temeljnog gorja, eruptivi i miocenski klastiti. U situacijama gdje se geotermalna voda nalazi na

velikim dubinama u zatvorenim vodonosnicima, npr. geotermalni vodonosnici koji su otkriveni zahvaljujući istraživanjima nafte i plina, obnavljanje podzemne vode nema ili je ograničeno na vrlo male količine. Održiva eksploatacija geotermalne vode moguća je u takvim okolnostima pod pretpostavkom reinjektiranja vode u geotermalni vodonosnik. Na području Dinarida, koji su bitno siromašniji geotermalnim i mineralnim izvorima, glavni vodonosnici su paleogenski i kredni vapnenci uloženi u fliš. Važno je da se geotermalni vodonosnici izmjenjuju s nepropusnim stijenama čime se sprječava miješanje termalnih i hladnih voda.

Podzemne vode kreću se po ukliještenim i boranim vodonosnicima, a zagrijavanje se odvija u dnu potolina, tektonskih graba ili u dubokih sinklinala, gdje je zbog blizine plohe Mohorovičićevog diskontinuiteta temperatura visoka. U povoljnim hidrogeološkim i strukturno-tektonskim okolnostima omogućeno je pojavljivanje termalne vode na površini terena u vidu izvora. Svi važniji geotermalni izvori u panonskom dijelu Hrvatske izbijaju iz tjemenskih dijelova antiklinala koji su presječeni poprečnim rasjedima. Na putu prema izvoru termalna voda zagrijava okolne stijene i na taj se način hladi, tako da temperatura vode na izvoru ovisi o dužini uzlaznog puta i o eventualnom miješanju s hladnom vodom. Zbog toga je voda iz bušotinskih zahvata, gdje brže i bez hladnih pritoka stiže na površinu, u pravilu znatno toplija od prirodnih izvora. Zbog povoljnih geoloških uvjeta na području panonskog dijela Hrvatske najveći je geotermalni potencijal, te postojanje geotermalnih pojava. Geotermalne pojave postoje i na dinaridskom području, a jedno od najznačajnijih mjesta je na području Istre. Zabilježene su termalne pojave i na području Splita te Mokošice kod Dubrovnika, no one su zbog temperature i izdašnosti neznatne u odnosu na panonski dio Hrvatske. Karakterizacija geotermalnih i mineralnih voda u Republici Hrvatskoj je prvi put obavljena u Planu upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027 prema Studiji „Delineacija i karakterizacija tijela geotermalnih podzemnih voda u Republici Hrvatskoj“ (Hrvatski geološki Institut, 2020). Pri izradi metodologije za izdvajanje vodnih tijela korištene su preporuke Okvirne direktivne o vodama 2000/60/EC i CIS vodiča br. 2 iz 2004. godine. Metodologija se sastojala od dva koraka: (1) identifikacije potencijalnih područja na temelju litostratigrafskih jedinica, strukturno-geoloških elementa i raspucanosti stijena te spoznajama o pojavama termalne vode na području (2) unutar potencijalnih područja izdvajaju se tijela na temelju strukturno - tektonskog sklopa (s naglaskom na rasjede s obzirom na to da oni mogu predstavljati propusne zone i s tim u vezi područja prihranjivanja geotermalnih vodonosnika, ili, u slučaju da se radi o nepropusnim rasjednim zonama, mjesta ne tečenja, odnosno barijere), raspucanosti, poroznosti, propusnosti stijenske mase, smjer tečenja geotermalne vode, izdašnosti izvora i/ili bušotina i kemijski sastav geotermalnih voda. Korišteni su podaci o poroznosti i litologije stijenske mase za odvajanje vodonosnika u sedimentnim bazenima (pijesci i pješčenjaci) od vodonosnika u predkenozojskim stijenama (karbonati, magmati, metamorfiti). U obzir su uzete izmjerene vrijednosti toplinske vodljivosti u stijenama koje predstavljaju vodonosnik, ali i u stijenama koje predstavljaju toplinski izolator. Navedena metodologija je bazirana na održivom upravljanju tog resursa. Podaci su temeljeni na interpretaciji 2D ili 3D seizmičkih mjerenja, podacima bušenja, regionalnih geoloških kartiranja. Korišteni su i rezultati hidrauličkih testiranja u bušotinama (primjerice DST testovi), mjerenje poroznosti i drugo.

Na temelju navedene metodologije izdvojeno je 18 tijela geotermalnih i mineralnih voda i to tri tijela u panonskim naslagama (pijesci, pješčenjaci srednjeg i gornjeg Panona),

te 15 tijela u predkenozoiskim naslagama (raspucanim karbonatima ili/i magmatskim / metamorfnim stijenama). S time da je njih 16 na području Panonskog bazena, te jedno na području Istre, a jedno na području unutarnjih Dinarida. Tijela geotermalnih i mineralnih voda se podudaraju. Kako veliki broj pojavljivanja geotermalnih i mineralnih voda na razmjerno maloj površini onemogućava optimalno upravljanje, za potrebe praćenja, ocjenjivanja i upravljanja podzemnim vodama obavljeno je grupiranje. Izdvajanje tijela geotermalnih i mineralnih voda napravljeno je u horizontalnom smjeru, s time da se vodilo računa na pojedinim područjima i o vertikali gdje su identificirani značajni vodnosnici. U pojedinim područjima grupirana su manja tijela u jedno na temelju istih ili sličnih kemijskih značajki, istog tipa stijena koje izgrađuje vodonosnik, te istog ili sličnog mehanizma punjenja i pražnjenja geotermalnih vodonosnika duž rasjednih zona. Izdvojena tijela geotermalnih i mineralnih voda obuhvaćaju 4.384,6 km² kopnenog teritorija Republike Hrvatske.



Slika 1. Tijela geotermalne i mineralne vode na prostoru Republike Hrvatske

3. KEMIJSKO I KOLIČINSKO STANJE GEOTERMALNIH I MINERALNIH VODA

Ocjena kemijskog stanja tijela geotermalnih i mineralnih voda provodi se na temelju pokazatelja standarda kakvoće geotermalnih i mineralnih voda navedenih u Prilogu 6. Uredbe o izmjenama i dopunama Uredbe o standardu kakvoće voda (Narodne novine, broj 20/23) u daljnjem tekstu Uredba i to: nitrata, pesticida, specifičnih onečišćujućih tvari: sume trikloretilena i tetrakloretilena, te fizikalnih parametara koji upućuju na prekomjerno korištenje: promjenu temperature i promjenu električne vodljivosti (promjena 15 % vrijednosti prosječne temperature i električne vodljivosti u standardnim uvjetima eksploatacije u odnosu na one vrijednosti koje su utvrđene u rješenju o potvrđivanju količina

i kakvoće rezervi temeljem kojeg je izdana dozvola za pridobivanje geotermalnih voda, odnosno sklopljen ugovor o eksploataciji geotermalnih voda)

Ocjena količinskog stanja tijela geotermalnih i mineralnih voda provodi se na temelju razina podzemnih voda ili hidrostatskog tlaka, te izdašnosti navedenih u Prilogu 7.B. Tablica 4.a. Uredbe uz pomoćne parametre: promjenu temperature i električne vodljivosti, koje se koriste za ocjenu kemijskog stanja, a služe kao kontrola izdašnosti. U slučaju kad nema promjene izdašnosti ili razine, a uslijed dotoka hladne podzemne vode kod prekomjernog crpljenja na štetu geotermalnih i mineralnih voda, kontroliraju se i pomoćni parametri i to promjena 15 % vrijednosti prosječne temperature i električne vodljivosti u standardnim uvjetima eksploatacije u odnosu na one vrijednosti koje su utvrđene u rješenju o potvrđivanju količina i kakvoće rezervi temeljem kojeg je izdana dozvola za pridobivanje geotermalnih voda, odnosno sklopljen ugovor o eksploataciji geotermalnih voda.

Ocjena stanja tijela geotermalnih voda za potrebe Plana upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027. napravljena je istraživačkim monitoringom u razdoblju od 2019. - 2020. godine u sklopu Studije „Delineacija i karakterizacija tijela geotermalnih podzemnih voda u Republici Hrvatskoj“ (Hrvatski geološki Institut, 2020).

Na vodnom području rijeke Dunav osnovni kemijski sastav vode: kalcij, magnezij, natrij, kalij, hidrogenkarbonati, kloridi i sulfati se ne mijenja. Sva tijela nalaze se u dobrom kemijskom stanju na vodnom području rijeke Dunav, dok na jadranskom vodnom području jedno tijelo nalazi se u lošem kemijskom stanju. Utvrđeno je da na području Istarskog tijela geotermalne i mineralne vode (HRJGTN-6) dolazi do velike promjene osnovnog sastava vode (kalcij, magnezij, natrij, kalij, hidrogenkarbonati, kloridi i sulfati) Istarskih toplica uslijed podizanja razine hladne vode na izvorištu Bulaž kao posljedice izvođenja hidrotehničkih zahvata. Promjena je vidljiva kroz promjenu tipa voda jer je geotermalna voda prije tog zahvata bila $\text{NaCa-ClHCO}_3\text{SO}_4$ tipa da bi danas bila $\text{CaNa-HCO}_3\text{ClSO}_4$ tipa, odnosno dolazi do snižavanja koncentracije klorida, sulfata i natrija.

Ocjena količinskog stanja za sva geotermalna tijela je dobro stanje.



Slika 2. Kemijsko stanje



Slika 3. Količinsko stanje

4. USPOSTAVA MONITORINGA KEMIJSKOG STANJA GEOTERMALNIH I MINERALNIH VODA

Program praćenja stanja geotermalnih voda uspostaviti će se nakon provedbe prvog ciklusa prijedloga praćenja kemijskog i količinskog stanja na geotermalnim vodnim tijelima u vidu istraživačkog monitoringa u okviru planirane Studije „Unaprjeđenje metodologije i kriterija za ocjenu kemijskog i količinskog stanja geotermalnih i mineralnih voda, te daljnje unaprjeđenje prijedloga monitoringa za geotermalne i mineralne vode“. Početak provedbe planira se u 2024. godini. Kako se radi o prvoj uspostavi monitoringa kemijskog i količinskog stanja geotermalnih i mineralnih voda, a radi se o kompleksnom i osjetljivom monitoringu zbog specifičnih karakteristika geotermalnih i mineralnih vodnih tijela (visokih tlakova i temperatura), potrebno je utemeljiti redoviti monitoring nakon studijskog ispitivanja predloženog programa.

Prijedlog monitoringa obuhvaća 39 monitoring postaja. Sve su nadzorne, osim na Istarskom podzemnom vodnom tijelu gdje je monitoring postaja i operativna na kojoj je povećana učestalost osnovnih fizikalno kemijskih pokazatelja, budući da se radi o podzemnom vodnom tijelu u lošem stanju zbog snižavanja temperature. Učestalost nadzornog monitoringa elemenata kemijskog stanja prema Prilogu 7 B. Uredbe odvijao bi se jednom u tri godine, a razliku od operativnog monitoringa jednom godišnje. Nadzorni monitoring bi se provodio na svim geotermalnim i mineralnim vodnim tijelima najmanje na jednoj točki opažanja, a to su većinom geotermalni izvori koji se najviše koriste za balneologiju i rekreaciju. Uz spomenute izvore kao točke opažanja odabrane su i bušotine pod koncesijom, stoga je potrebna komunikacija s koncesionarom radi dozvole pristupa. U planu monitoringa uvršteni su i 4 subtermalna izvora kojima se temperature kreću od 22,5 do 32,8 °C. Ne nalaze se na geotermalnim i mineralnim vodnim tijelima, ali su determinirani radi mogućnosti daljnje karakterizacije geotermalnih vodnih tijela u plićim horizontima. U prijedlogu praćenja nalaze se i 4 monitoring postaje za mineralne vode. Radi se o izvorima ili bušotinama koje su se koristile ili se koriste za flaširanu mineralnu vodu. Obzirom da su starost i podrijetlo geotermalne vode ključni parametri za određivanje može li geotermalna voda sadržavati onečišćenje poput pesticida ili umjetne sintetičke tvari predlaže se uzorkovanje vode i određivanje prosječne starosti vode pomoću koncentracije aktivnosti izotopa ugljika-14 (^{14}C). Uzorkovanje bi se provelo jednom u planskom ciklusu. Istovremeno je potrebno izmjeriti i omjer stabilnog izotopa ugljika-13 ($\delta^{13}\text{C}$) u otopljenom anorganskom ugljiku (TIC) pomoću kojeg će se načiniti korekcija starosti. Za utvrđivanje udjela "hladne" podzemne vode u geotermalnoj potrebno je jednom godišnje izmjeriti omjer stabilnih izotopa kisika-18 ($\delta^{18}\text{O}$) i vodika-2 ($\delta^2\text{H}$). Naime ovi pokazatelji zajedno s jednim od konzervativnih kemijskih pokazatelja (kao što je klorid), poslužiti će za inverzno geokemijsko modeliranje da se izračuna udjel "hladne" vode u geotermalnoj vodi. Recentna "hladna" podzemna voda može biti potencijalni nositelj onečišćenja te može potencijalno, ovisno u njezinom udjelu u geotermalnoj vodi pogoršati kemijsko stanje geotermalne vode, kao što je slučaj u Istarskom vodnom tijelu.

Za utvrđivanje povezanosti pojedinih tijela (primjerice da li dijele isto područje prihranjivanja) odnosno postoji li mogućnost grupiranja pojedinih tijela primjerice Daruvarskog s Lipičkim ili Varaždinskim s Konjščinskim, mjerenje sumpora-34 ($\delta^{34}\text{S}$) i kisika-18 ($\delta^{18}\text{O}$) u sulfatima (SO_4^{2-}) omogućilo bi dodatni pokazatelj pomoću kojega bi se moglo definirati podrijetlo geotermalnih voda. Ovaj pokazatelj trebalo bi izmjeriti jedanput u planskom ciklusu.

Prilikom uzorkovanja važno je uzimati uzorak na istom mjestu da ne bi došlo do promjena u temperaturi ili nekom drugom pokazatelju zbog promjene mjesta uzorkovanja (npr. jedanput se mjeri u samom izvoru, a drugi put 10 m dalje na preljevu). Nadalje, potrebno je voditi računa kako konzervirati uzorak za pojedina mjerenja, a osobito je važno kod visoko mineraliziranih voda kao što je slučaj na području Zagrebačkog, Bizovačkog, Ivanić gradskog, Svetonedeljskog, Županijskog, Donjo i Gornjo međimurskog tijela geotermalnih voda gdje zbog promjene tlaka i temperatura dolazi do taloženja pojedinih elemenata što može uzrokovati nepravilne rezultate analiza. Kako uzrokovati i konzervirati uzorke opisano je u Studiji „Delineacija i karakterizacija tijela geotermalnih podzemnih voda“ (Hrvatski geološki Institut, 2020) a koja se temelji na radu *Sampling and analysis of geothermal fluids* (Arnórsson, et al., 2006). u kojem je dan pregled svih objavljenih smjernica i radova vezanih za uzorkovanje geotermalnih voda i dane upute ovisno o tipu vode kako postupati. Kratki pregled je dan u tablicama 1. i 2.

Tablica 1. Metode konzerviranja uzoraka geotermalnih voda

Tip analize	Metoda	Svrha	Koristi se za
Fizikalne	Filtracija	Spriječiti izluživanje s organskom tvari	Anioni i kationi
	Zamrzavanje	Spriječiti biološko razgrađivanje	Nutrijenti
	Hermetički zatvoren spremnik	Spriječiti doticaj s zrakom	Plinovi
	On-site analiza	Spriječiti reakcije reaktivnih elemenata	Reaktivni elementi
Kemijske	Zaluživanje	Aborpcija kiseih plinova	CO ₂ , H ₂ S, δ ³⁴ S u H ₂ S u pari
	Zakiseljavanje	Spriječiti adsorpciju na stjenke spremnika	Kationi
	Taloženje	Spriječiti reakciju jednog elementa da promijeni koncentraciju drugog	H ₂ S da ne prijeđe u sulfate
	Sterilizacija	Spriječiti biološko razgrađivanje	δ ³⁴ S i δ ¹⁸ O u SO ₄
	Razrjeđivanje	Spriječiti polimerizaciju i taloženje	silicij
	Redoks	Promijeniti oksidacijsko stanje hlapljivog sastojka kako bi bio manje hlapljiv	živa
	Ionska zamjena	Koncentrirati i dalje spriječiti adsorpciju na stijenkama spremnika elemente u tragovima	REE
	Ekstrakcija	Koncentrirati i dalje spriječiti adsorpciju na stijenkama spremnika elemente u tragovima	REE

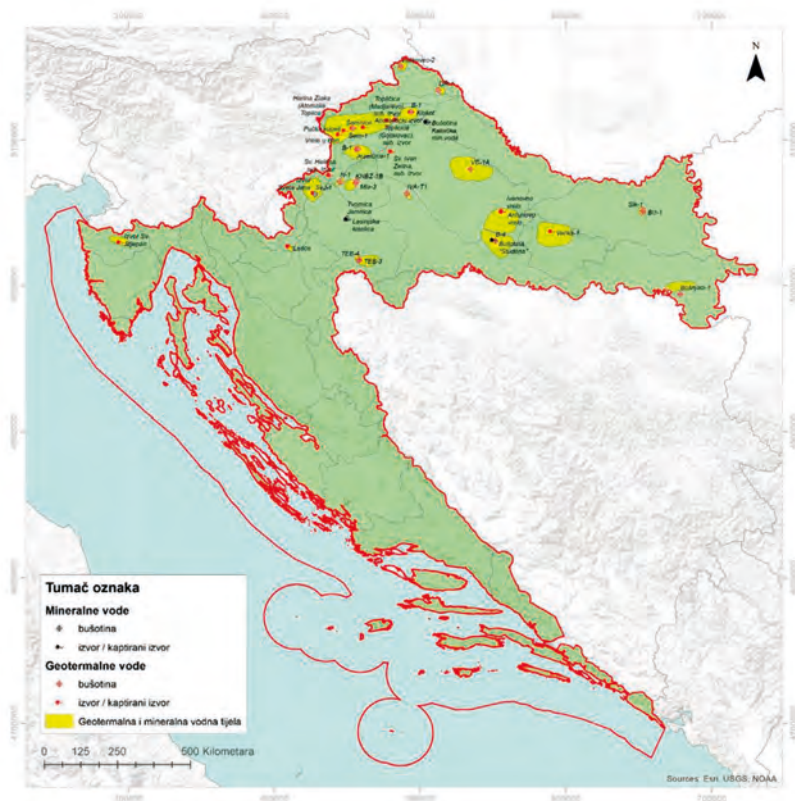
Tablica 2. Obrada i uzimanje uzoraka

Obrada	Spremnik	Određivanje
Nepotrebna; ili staklena boca s fiksnim čepom	250-300 mL staklena boca	pH, CO ₂ , H ₂ S, EC; ako nisu određeni na terenu
Nepotrebna	200 mL plastična boca	Mg, SiO ₂ ako su < 100 ppm
Razrjeđivanje; 50 ml uzorka dodati 50 ml deionizirane vode	3 x 100 mL plastična boca	Mg, SiO ₂ ako su > 100 ppm
Filtracija	200 mL plastična boca	Anioni
Filtracija; 0,8 ml konc. HNO ₃ (Suprapur) dodati u uzorak od 200 ml	200 mL plastična boca	Kationi
Filtracija; 2 ml 0,2 M ZnAc ₂ dodati uzorku u odmjernu staklenu tikvicu od 100 ml i bocu od 10 ml do 500 ml koja sadrži 25 mg SO ₄ za taloženje sulfida	100 mL plastična boca	SO ₄ , δ ³⁴ S i δ ¹⁸ O u SO ₄
Filtracija	60 x 3; 1000 mL staklena boca	δ ² H, δ ¹⁸ O, ¹³ C, ³ H

5. USPOSTAVA MONITORINGA KOLIČINSKOG STANJA GEOTERMALNIH I MINERALNIH VODA

Ocjena količinskog stanja tijela geotermalnih i mineralnih voda provodi se na temelju razina podzemnih voda ili hidrostatickog tlaka, te izdašnosti navedenih u Prilogu 7.B. Tablica 4.a. Uredbe uz pomoćne parametre: promjenu temperature i električne vodljivosti, koje se koriste za ocjenu kemijskog stanja, a služe kao kontrola izdašnosti. U slučaju kad nema promjene izdašnosti ili razine, a uslijed dotoka hladne podzemne vode kod prekomjernog crpljenja na štetu geotermalnih i mineralnih voda, kontroliraju se i pomoćni parametri i to promjena 15 % vrijednosti prosječne temperature i električne vodljivosti u standardnim uvjetima eksploatacije u odnosu na one vrijednosti koje su utvrđene u rješenju o potvrđivanju količina i kakvoće rezervi temeljem kojeg je izdana dozvola za pridobivanje geotermalnih voda, odnosno sklopljen ugovor o eksploataciji geotermalnih voda. Monitoring postaje na kojima bi se odvijao monitoring količinskog stanja su iste kao u monitoringu kemijskog stanja.

Nadzorni monitoring odvijao bi se jednom u tri godine, za razliku od operativnog svake godine prema dinamici iz Uredbe Prilog 7. tablica 4 a i 4 b.



Slika 4. Predložene monitoring postaje za praćenje kemijskog i količinskog stanja geotermalnih i mineralnih voda

ZAKLJUČAK

U budućnosti će se mineralne i geotermalne vode koristiti sve više, svjedoci smo energetske krize koja se sve više produbljuje, geotermalna energija mogla bi biti jedno od mogućih spasonosnih rješenja. U novije vrijeme se u cijelom svijetu sve više se potiče višenamjensko korištenje geotermalnih voda, primjerice za medicinske svrhe, turizam, rekreaciju, grijanje objekata, pripremu tople vode, grijanje staklenika, uzgoj ribe, proizvodnju el. energije i drugo. Kako bi se osigurala održivost njihovog korištenja moraju se dobro poznavati njihove kemijske, količinske i ekološke učinke, kao i same karakteristike kako bi se sačuvala i održivo koristila. Izuzetno je važno uspostaviti dobre standarde i granične vrijednosti parametara, koji će ukazivati na promjene u stanju, te kvalitetan kemijski količinski monitoring koji će ukazivati pravovremeno na promjene u stanju, te praćenje trendova. Geotermalne i mineralne vode je potrebno adekvatno zaštititi, pod tim se podrazumijeva cjelokupno priljevno područje, bušotine i izvorišta. Zaštita geotermalnih i mineralnih voda, te uspostava kvalitetnog monitoringa prioritet je sadašnjice za njihovu budućnost i održivo korištenje.

LITERATURA

- [1] Arnórsson, S., J.Ö. Bjarnason, N. Giroud, I. Gunnarsson and A. Stefánsson, (2006): *Sampling and analysis of geothermal fluids, Geofluids*. 6, 203–216
- [2] Energetski institut Hrvoje Požar (2018): *Analize i podloge za izradu energetske strategije Republike Hrvatske*, Zelena knjiga, Nacrt, Zagreb
- [3] Marković. T., Sladović, Ž., Larva, O., Brkić, Ž., (2020): *Delineacija i karakterizacija tijela geotermalnih podzemnih voda u Republici Hrvatskoj*, Hrvatski geološki institut, Zagreb te u tekstu citirati Marković et al., 2020
- [4] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja (2023.): *Plan razvoja geotermalnog potencijala Republike Hrvatske do 2030. godine*, Uprava za energetiku, Zagreb
- [5] Plan upravljanja vodnim područjima do 2027, (Narodne novine, broj 84/23)
- [6] Šimunić A. (2008): *Geotermalne i mineralne vode Republike Hrvatske*, Geološka monografija, Hrvatski geološki institut, Zagreb
- [7] Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o standardu kakvoće voda (Narodne novine, broj 20/23)
- [8] Zakon o vodama (Narodne novine, br. 66/19, 84/21 i 47/23)
- [9] Zakon o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika (Narodne novine, br. 52/18, 52/19 i 30/21)

AUTORI

mr. sc. Daria Čupić, dipl. ing. geol. ^a

mag. ing. geol. Hrvoje Herceg ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska,
daria.cupic@voda.hr, hrvoje.herceg@voda.hr



R 1.35.

STRATEGIJE RAZVOJA GEOTERMALNIH PROJEKATA ISLANDA I HRVATSKE

Boris Vrbanac, Matija Ratkaj

SAŽETAK: U ovom radu prikazana je strategija razvoja geotermalnih projekata na Islandu s naglaskom da su projekti i oprema koja se rabi za potrebe toplinarstva (bušotine, cjevovodi pumpne stanice itd.) isključivo u vlasništvu države ili lokalnih državnih tijela, dok su energane koje proizvode električnu energiju manjim dijelom u vlasništvu privatnih kompanija. Trenutna strategija razvoja geotermalnih projekata u Hrvatskoj koje se financiraju ili će se financirati iz NPOO fonda, usmjerena je na geološko ispitivanje odabranih lokaliteta niske entalpije koji će se nakon što im Agencija za ugljikovodike priredi svu potrebnu dokumentaciju, ishodi potrebne dozvole i suglasnosti te izradi po jednu istražnu bušotinu, svu dokumentaciju i bušotine, predati privatnim poduzetnicima na dovršenje projekta.

U radu se također razmatran geotermalni potencijal prostora sjeverne Hrvatske imajući u vidu geološke značajke podzemlja.

KLJUČNE RIJEČI: Geotermalni projekt, Strategija razvoja, Geotermalni potencijal

DEVELOPMENT STRATEGIES FOR GEOTHERMAL PROJECTS IN ICELAND AND CROATIA

ABSTRACT: The paper presents the development strategy for geothermal projects in Iceland, with an emphasis on the facts that the projects and equipment used in heating industry (boreholes, pipelines, pumping stations, etc.) are exclusively owned by the state or local state authorities, whereas power plants generating electricity are, to a lesser extent, owned by private companies. The current development strategy for geothermal projects in Croatia financed or to be financed under the NRRF is focused on geological investigations of selected low-enthalpy sites. After the Croatian Hydrocarbon Agency prepares all necessary documents, obtains necessary permits and consents, and develops one investigation borehole per project, all documents and boreholes will be delivered to businesses to complete the projects.

The paper further analyses the geothermal potential of northern Croatia, while taking into account the geological features of the underground.

KEYWORDS: Geothermal project, Development strategy, Geothermal potential

1. UVOD

Imajući u vidu nagle klimatske promjene uzrokovane najvećim dijelom spaljivanjem fosilnih goriva i posljedičnim emitiranjem stakleničkih plinova u atmosferu, jedan od najvažnijih zadataka čovječanstva je zamjena fosilnih goriva obnovljivim izvorima energije koji ne emitiraju stakleničke plinove. Hidroenergija, energija vjetra, sunca, nuklearna i geotermalna energija postaju sve važniji izvori energije koji ubrzano smanjuju potrebe za uporabom fosilnih goriva. Geotermalna energija spada svakako među najprihvatljivije, budući je njeno pridobivanje moguće na najvećem dijelu Zemljine površine. Nakon visokih početnih ulaganja u istraživanje te izradu bušotina i troškove priključenja na toplovodnu/električnu mrežu, povrat ulaganja je relativno kratak, a eksploatacija traje desetljećima uz niske troškove održavanja.

Kod razvoja geotermalnih projekata izuzetno je važna strategija razvoja koja odlučuje o odabiru pojedinih projekata i njihovoj namjeni ali i rješava krucijalno pitanje tko će imati korist od tih projekata. Šira društvena zajednica ili privatne kompanije.

2. STRATEGIJA RAZVOJA GEOTERMALNIH PROJEKATA ISLANDA

Otok Island nastao je ogromnim izljevima magme iz unutrašnjosti Zemlje na Atlanskoj brazdi na spoju Europske i Američke tektonske ploče prije 20-tak milijuna godina. Izgrađen je isključivo od vulkanskih stijena koje su na istočnom dijelu prekrivane tankim pokrovom od neogenskih klastičnih naslaga. Kako se radi o vulkanski aktivnom području s plitko smještenom magmatskom komorom ispod središnjeg dijela otoka, prirast temperature s dubinom iznosi oko 200 °C/1000 m, lokalno i više. Imajući u vidu energetske mogućnosti ovog prirodnog resursa sedamdesetih godina prošlog stoljeća Vlada Islanda je donijela novu energetske strategiju maksimalnog korištenja prirodnog geotermalnog i hidro-potencijala. Usvojena kontrolirana i usklađena strategija korištenja dovela je Island na sami svjetski vrh po potrošnji energije iz obnovljivih izvora. Udio korištenja energije iz obnovljivih izvora iznosi 85 % dok 15 % otpada na energiju iz fosilnih goriva (pretežno u sektoru prometa i ribarstva). Kada se razmatra samo energija iz obnovljivih izvora, udio geotermalne energije iznosi 65 % dok ostatak daju hidrocentrale i vjetroelektrane. Energija dobivena iz geotermalnih izvora najvećim dijelom se troši na grijanje prostora (43 %), zatim za proizvodnju električne energije (40 %), za grijanje staklenika (9 %), za grijanje vode u bazenima (4 %) i ostale potrebe kao što je otapanje snijega na ulicama i pločnicima (4 %).

Zahvaljujući jeftinoj energiji potrošnja električne energije po stanovniku na Islandu iznosi 55.000 kwh na godinu dok je prosječna potrošnja u Europi po stanovniku ispod 6.000 kwh. Toplinska energija za grijanje se proizvodi cijele godine i predstavlja zanemarivi udio u troškovima domaćinstava.

Geotermalne energane na Islandu koje proizvode toplinsku energiju za grijanje stambenih i drugih prostora isključivo su u vlasništvu države, odnosno lokalnih zajednica. Energane koje iz geotermalnih izvora proizvode električnu energiju također su pretežito u vlasništvu države ili državnih fondova, tek manjim dijelom u vlasništvu privatnih kompanija, tako da Vlada ima potpunu kontrolu na energetskim sektorom i strategijom njegova razvoja u skladu s povećanjem potreba za energijom. Lokalne kompanije koje se bave distribucijom toplinske energije također su u vlasništvu lokalnih samoupravnih jedinica, imaju

monopol ali vlada kontrolira prodajnu cijenu krajnjim korisnicima. Na ukupne troškove poslovanja mogu ostvariti profit od 3 do 5 % koji se troši na proširenja obima poslovanja.

3. STRATEGIJA RAZVOJA GEOTERMALNIH PROJEKATA HRVATSKE

Razmotrimo strategiju razvoja geotermalnih projekata u Hrvatskoj. Preskočimo li tisućljetnu uporabu termalnih voda u balneološke i rekreacijski svrhe u bazenima, danas postoji pet aktivnih eksploatacijskih polja: Bošnjaci Sjever, Zagreb, Bizovac, Sveta Nedelja i Velika Ciglena, u kojima se geotermalna voda rabi u energetske svrhe (grijanje prostora, bazena, proizvodnja električne energije). Konkretna priprema projekata za korištenje geotermalnih voda iz dubokih bušotina za proizvodnju električne energije i toplinske energije za grijanje prostora započele su prije petnaestak godina na više lokaliteta. Prva privatna geotermalna bušotina izrađena je u Bošnjacima 2012-te godine za grijanje staklenika, a 2019. proradila je prva privatna geotermalna elektrana u Velikoj Cigleni proizvedeći električnu energiju.

U početku izuzetno zanimanje gradova i privatnih kompanija za geotermalne projekte nije država pratila definiranom strategijom njihova razvoja. Tek s donošenjem „Nacionalnog plana oporavka i otpornosti“ (NPOO) 2021. godine dobiven je uvid u vladinu strategiju razvoja geotermalnih projekata koje će ona financijski podržati. Za provedbu geotermalnih projekata u okviru NPOO-a izdvojeno je oko 29 milijuna €, a Agencija za ugljikovodike (AZU) je ovlaštena za provedbu projekata. U NPOO-u su određeni i kriteriji odabira lokaliteta (projekata) koji će se financirati iz tog fonda:

- naznaka geotermalnog potencijala srednje i niske entalpije
- postojeće korelativne bušotine u okolini prospekta
- dovoljan broj potrošača u okolici prospekta ili postojanje centralnog toplinskog sustava
- projekt neće ugroziti bioraznolikost.

Na temelju tih kriterija AZU je odabrala devet lokaliteta na kojima će se provesti geofizička mjerenja na temelju kojih će se donijeti odluka da li je projekt povoljan za geotermalnu upotrebu te da li postoji dovoljan broj konzuma toplinske energije na predloženom prostoru, te će se tada donijeti odluka o izradi bušotine. Ukoliko se projekt svrsta u kategoriju „Geotermalni projekti koji uključuju izradu istražne bušotine“ nastavit će se s realizacijom tog projekta. Slijedi isti postupak za drugi projekt iz popisa.

Predloženi lokaliteti su Velika Gorica, Osijek (Pomoćin), Donji Miholjac, Vukovar, Đurđenovac, Zaprešić, Požega (Teklić), Vinkovci (Jarmina) i Sisak. Od predloženih 9 lokaliteta u uži izbor su ušli: Velika Gorica, Osijek, Sisak, Vukovar, Vinkovci i Zaprešić.

Na temelju tih radova odabrat će se dva lokaliteta (projekta) na kojima će se izraditi cjelokupna geološka dokumentacija, pribaviti potrebne dozvole i suglasnosti koje prethode izradi bušotine te izraditi po jedna istražna bušotina koje će se ponuditi najpovoljnijem ponuđaču na daljnje dovršenje projekta.

Iz navedenog je vidljivo da se iz tog fonda neće financirati projekti srednje i visoke entalpije.

Vrlo opširni i sveobuhvatni „Plan razvoja geotermalnog potencijala Republike Hrvatske do 2030. godine“ koji je objavljen u ožujku 2023. vrlo je detaljno opisao sve aspekte

istraživanja geotermalnih projekata, od geološkog opisa podzemlja, postupke tijekom izrade bušotina, vidova uporabe geotermalne vode itd., a što se tiče strategije razvoja geotermalnih projekata prepisane su odluke iz NPOO-a o odredbi šest lokaliteta koji će se financirati iz tog fonda.

4. GEOLOŠKI GEOTERMALNI POTENCIJAL HRVATSKE

Tvrđnja da Hrvatska ima veliki geotermalni potencijal zasniva se na činjenici da je gradijent porasta temperature s dubinom nešto viši u odnosu na prosječni temperaturni gradijent Europe. Međutim, pritom se ne uzima u obzir podatak da u podzemlju panonskog dijela Hrvatske postoji ograničeni broj lokaliteta u kojima su istražnim bušenjima utvrđeni karbonatni kompleksi stijena koji mogu činiti masivna ležišta zasićena vrućom vodom. Količinom proizvedene geotermalne vode jedino ona mogu zadovoljiti potrebe centralnih toplinskih sustava gradova ili proizvesti značajnije količine električne energije. Nažalost, na svega desetak lokaliteta u panonskoj Hrvatskoj utvrđeni su ti izolirani fragmanti Jadranske karbonatne platforme koji su tektonskim pokretima otkinuti od njenog sjevernog ruba i „otplutali“ prema sjeveru. U geotermalnom smislu ti nepovezani fragmenti ograničena volumena čine najvrednije geološke formacije. U svim ostalim lokalitetima rezervoare geotermalne vode čine pješčenjaci koji mogu davati do 30 l/s tople vode i to ovisno o dubini zalijeganja sloja pješčenjaka. S većom dubinom zalijeganja raste temperatura u ležištu ali ujedno raste i kompaktiranost sedimenta i posljedično smanjena propusnosti i smanjena davanja, tako da se tom proizvodnjom mogu pokriti potrebe staklenika, bazena i manjih gospodarskih i stambenih objekata. Premda relativno malog geotermalnog potencijala njihova prednost je brojnosti. Praktički cijelo područje panonske Hrvatske ima potencijal za korištenje geotermalne vode niske entalpije, a povoljna je i okolnost da kod tako malih davanja nije potrebno toplinski iskorištenu vodu vraćati u podzemlje, čime se izbjegavaju troškovi izrade utisnih bušotina.

Postojanje vrlo ograničenog broja lokaliteta s masivnim ležištima možda bi trebalo predati na korištenje obližnjim gradovima kako bi od tog geotermalnog potencijala korist imala šira društvena zajednica. Primjer je Varaždinska županija koja će iskoristiti geotermalni potencijal polja Lunjikovec - Kutnjak za proizvodnju električne energije za potrebe županije te toplinsku za grijanje staklenika. Suprotan je primjer polja Velika Ciglana nedaleko Bjelovara. Geotermalne resurse tog polja rabi privatna kompanija koja je nakon četverogodišnje eksploatacije otplatila početna ulaganja i danas ubire veliku financijsku dobit od koje grad Bjelovar na ime naknade za pridobivenu količinu geotermalne vode dobiva skromnih nekoliko postotaka od njezine tržišne vrijednosti.

ZAKLJUČAK

Trenutna strategija razvoja geotermalnih projekata koji će se financirati iz NPOO fonda usmjerena je na zadovoljavanje potreba malih privatnih poduzetnika (grijanje staklenika, bazena, manjih objekata), dok ne postoje pisani materijali koji govore o strategiji razvoja masivnih ležišta srednje entalpije koja mogu služiti i za potrebe toplinarstva i proizvodnju električne energije. Krajnje je vrijeme da se jasno i nedvosmisleno odrede strateški prioriteti uporabe tih izvora energije, da li za zadovoljavanje potreba društvenih zajednica ili privatnih kompanija.

LITERATURA

- [1] VLADA REPUBLIKE HRVATSKE: Nacionalni plan oporavka i otpornosti 2021-2026. Zagreb, 1266 str., srpanj 2021.
- [2] VLADA REPUBLIKE HRVATSKE: Plan razvoja geotermalnog potencijala Republike Hrvatske do 2030. godine. NN 25/20, 40 str., Zagreb, svibanj 2023.
- [3] Boris Vrbanac (2023.): Strategija razvoja geotermalnih projekata Islanda. Int. dok., GeotermiKA, Karlovac, 3

AUTORI

dr. sc. Boris Vrbanac ^a

Matija Ratkaj, mag. ing. geol. ^a

^a GeotermiKA d.o.o. , Ulica Ivana Banjavčića 9, 47000 Karlovac, Hrvatska, direktor@geotermika.hr



R 1.36.

IZVORI GEOTERMALNE I MINERALNE VODE NA PODRUČJU ZAGORSKOG GEOTERMALNOG VODNOG TIJELA

Hrvoje Herceg

SAŽETAK: Za potrebe Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. izdvojeno je ukupno 18 geotermalnih vodnih tijela, od kojih se 17 nalazi na području Panonskog bazena koje karakterizira visoki geotermalni gradijent. Izdvajanje tijela provedeno je prema uputama CIS vodiča, a sva izdvojena geotermalna vodna tijela nalaze se na područjima visokog stupnja istraženosti. Jedno od izdvojenih vodnih tijela je i Zagorsko geotermalno vodno tijelo, površine 653 km², koje se nalazi za području Hrvatskog zagorja. Područje Hrvatskog zagorja obiluje izvorima geotermalne i mineralne vode koji se koriste za rekreativne, balneološke i medicinske svrhe, te za potrebe grijanja prostora. Na području Zagorskog GVT nalazi se nekoliko značajnih geotermalnih izvora kao što su izvori Tuheljskih, Krapinskih, Šemničkih i Sutinskih toplica. Termalni izvori u Tuheljskim toplicama spadaju u najizdašnije izvore u Hrvatskom zagorju, te se kao i izvori Krapinskih toplica trenutno koriste za razne namjene. Izvori Šemničkih dugi niz godina su napušteni, no 2019. godine Krapinsko - zagorska županija je donijela je urbanistički plan uređenja turističko - rekreacijsko područja Šemničke toplice. Sutinske toplice se sastoje od dva mala izvora koja su se koristila za kupalište tijekom ljeta, ali je kupalište od 2013. godine zatvoreno.

KLJUČNE RIJEČI: Izvori, Bušotine, Geotermalna voda, Korištenje, Vodno tijelo

GEOTHERMAL AND MINERAL WATER SPRINGS IN THE AREA OF ZAGORJE GEOTHERMAL WATER BODY

ABSTRACT: For the River Basin Management Plan 2022 - 2027, a total of 18 geothermal water bodies were selected, of which 17 located in the Pannonian basin that is characterized by a high geothermal gradient. The selection of water bodies was performed according to instructions in the CIS Guidance Document. All selected geothermal water bodies are located in highly researched areas. One of the selected water bodies is the geothermal water body Zagorskog, with a surface of 653 km² and located in Hrvatsko zagorje. The area of Hrvatsko zagorje has abundant geothermal and mineral water bodies, which are used for recreational, balneological and medicinal purposes, as well as for heating. In the area of the geothermal water body Zagorskog, there are several important geothermal

springs, such as the springs of Tuheljske, Krapinske, Šemničke and Sutinske Toplice (spas). The thermal springs in Tuheljske Toplice are among the springs with the highest yield in Hrvatsko zagorje and are presently used for various purposes, the same as the springs of Krapinske Toplice. The springs of Šemničke Toplice have been abandoned for a long time; however, the Krapina - Zagorje County adopted the Spatial Plan for the Šemničke Toplice tourist and recreational area in 2019. Sutinske Toplice have two small springs that were used for swimming pools in summer, but were closed in 2013.

KEYWORDS: Springs, Boreholes, Geothermal water, Use, Water body

1. UVOD

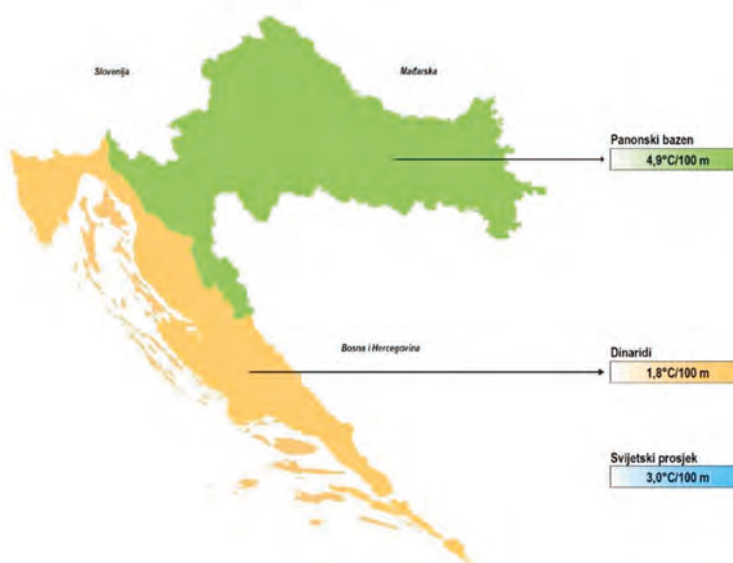
Geotermalne i mineralne vode obzirom na ostale podzemne vode razlikuju se prema količini otopljenih tvari i temperaturi. Osnovne karakteristike na temelju kojih se klasificiraju geotermalni sustavi su geološke, hidrogeološke, morfološke i termičke karakteristike ležišta, a u skladu sa klasifikacijom se i primjenjuju različite metode istraživanja. U geološkom smislu područje Republike Hrvatske podijeljeno je na područje Panonskog bazena na sjeveru, te Dinarsko područje na jugu. Sjeverni dio teritorija predstavlja jugozapadnu granicu Panonskog bazena kojeg karakterizira visoki geotermalni gradijent koji u prosjeku iznosi $4,9\text{ }^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$ i visoki površinski toplinski tok od 76 mW/m^2 , dok područje Dinarida ima nizak geotermalni gradijent koji u prosjeku iznosi $1,8\text{ }^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$ (slika 1) (EIHP, 2018). Posljedica razlike u vrijednostima geotermalnog gradijenta je dubina do Mohorovičićevog diskontinuiteta što predstavlja granicu između Zemljine kore i plašta. Na Dinarskom području dubina do Moho sloja varira od 32 do 46 km, dok na području Panonskog bazena od 22 do 27 km (Šumanovac et al., 2016). Na teritoriju Republike Hrvatske postoji tisućljetna tradicija korištenja podzemnih voda iz geotermalnih vodonosnika u balneološke, rekreacijske i medicinske svrhe, te za potrebe grijanja prostora. Prilikom istraživanja termalnih i mineralnih voda koriste se razne klasifikacije, a glavni kriteriji za definiranje klasifikacijskih podjela su kemijski sastav i temperatura. Kako u svijetu tako i u Hrvatskoj postoje brojne definicije geotermalnih i mineralnih voda. Prema Okvirnoj direktivi o vodama 2000/60/EZ geotermalne vode se definiraju kao sve podzemne vode čija je temperatura viša od $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, a mineralne vode kao podzemne vode čija je mineralizacija veća od 1 g/l . Prema Kovačić & Perica, 1998. geotermalne vode dijele se u četiri kategorije:

Subtermalne vode ($13 - 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Hipotermalne vode ($20 - 34\text{ }^{\circ}\text{C}$)

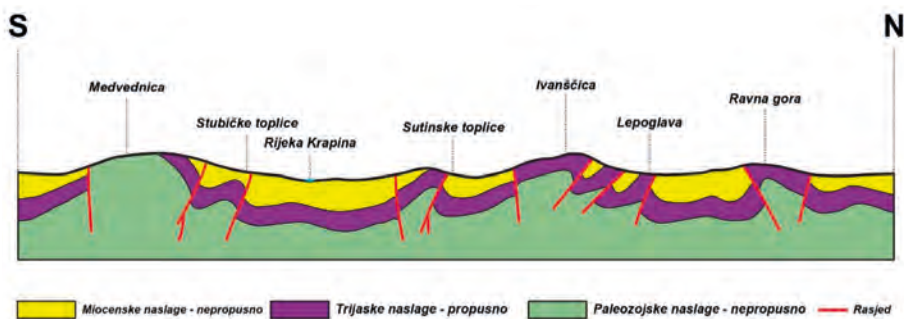
Homeotermalne vode ($34 - 38\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Hipertermalne vode (više od $38\text{ }^{\circ}\text{C}$)



Slika 1. Geotermalni gradijent Republike Hrvatske modificirano prema EIHP, 2018

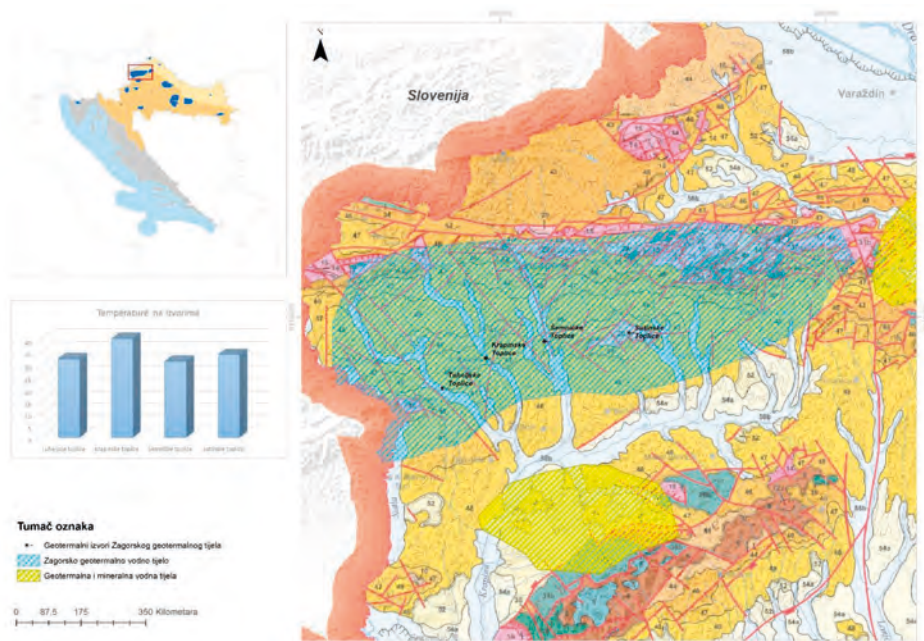
Postoji veliki broj izvora kojima je temperatura vode niža do 20 °C (subtermalna voda), ali ipak sadrže veće količine CO₂, H₂S ili neki drugi plin ili imaju povećani sadržaj otopljenih minerala. Navedene karakteristike ukazuju da se najčešće radi o ohlađenim izvorima kojih ima mnogo na području Sjeverne Hrvatske i Slovenije. Geološkim istraživanjima i istražnim bušenjem ustanovljeno je da na Panonskom području najčešće kolektorske stijene su okršeni trijaski dolomiti i vapnenci, te badenske breče i vapnenci koji se području Hrvatskog zagorja pojavljuju na skoro svim planinama. Geotermalni vodonosnici formirani su na područjima gdje je uslijed navlačenja i rasjedanja došlo do razvoja sekundarne poroznosti unutar stijenske mase, a upravo trijaski karobonatni vodonosnici predstavljaju najizdašnija geotermalna vodna tijela u Hrvatskoj. Budući da se podzemna voda na području Hrvatskog zagorja podzemljem kreće po uklještenim i boranim vodonosnicima koji su naknadno i rasjednuti, takav sustav možemo opisati kao rasjednuti sinklinorij (slika 2).



Slika 2. Geološki profil kroz Hrvatsko zagorje (Šimunić, 2008)

2. ZAGORSKO GEOTERMALNO I MINERALNO VODNO TIJELO

Zagorsko geotermalno tijelo površine je 653,3 km² smješteno području Hrvatskog zagorja. Na području nalazi se nekoliko značajnih geotermalnih izvora kao što su izvori Tuheljskih, Krapinskih, Šemničkih i Sutinskih toplica. U geološkom smislu na promatranom području izdvojene su tri glavne jedinice. U podlozi paleozojski šejlovi i pješčenjaci transgresivno naliježu na naslage sličnih karakteristika ali trijaskie starosti. Trijaskie naslage predstavljene su okršenim dolomitima i dolomitnim brečama, a trijaski kompleks je glavni geotermalni vodonosnik. Neogenske naslage predstavljene su litotamnijskim vapnencem u izmjeni s laporima, a hidraulički su povezani s dolomitnim geotermalnim vodonosnikom (slika 3).

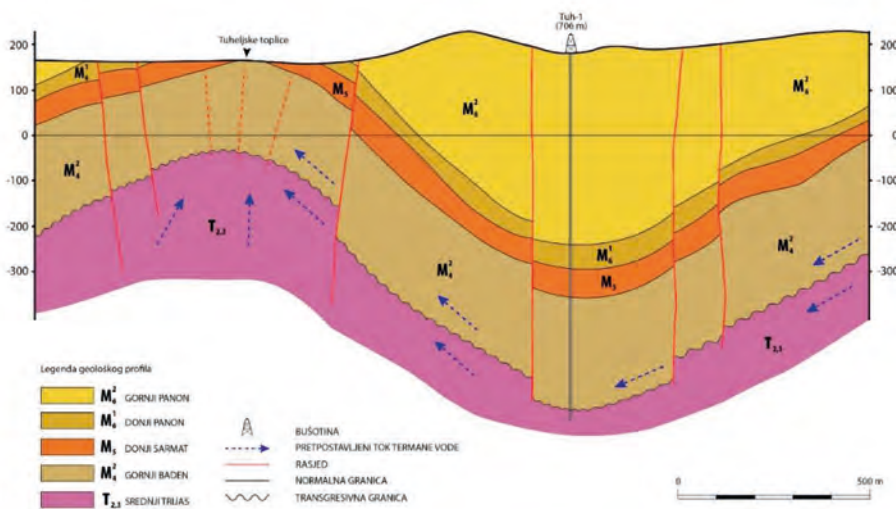


Slika 3. Zagorsko geotermalno vodno tijelo (Osnovna geološka karta 1 : 300.000)

Hidrokemijske karakteristike izvorišta posljedica su mineraloško - petrografskog sastava stijena koje izgrađuju vodonosnik. Prema ionskom sastavu pripadaju CaMg-HCO₃ tipu voda. Bez obzira na promjene metoda određivanja kemijskog sastava voda, hidrokemijski facijes nije se mijenjao tijekom godina, što ukazuje da nije došlo do promjena u režimu istjecanja vode na izvorištima. U sklopu DARLINGe projekta rađene su detaljne izotopne analize na izvorištima te je utvrđeno da je srednje vrijeme zadržavanja vode u podzemlju od 5.000 do 11.500 godina što ukazuje da je vodonosnik dobro zaštićen od antropogenog djelovanja (DARLINGe, 2018). Pokazatelji antropogenog djelovanja na kemijsko stanje vode, kao što su pesticidi su ispod granice detekcije, kao i koncentracije nitrata. Prema ocjeni kemijskog i količinskog stanja geotermalno tijelo je u dobrom stanju, te se prema ocjeni i načinu korištenja geotermalne vode u narednom planskom ciklusu do 2027. godine ne nalazi u riziku.

2.1. Tuheljske toplice

Termalni izvori u Tuheljskim toplicama spadaju u najizdašnije izvore u Hrvatskom zagorju. Tuheljske toplice smještene su na sjecištu tjemenskog dijela antiklinale i poprečnih rasjeda na području gdje je geotermalni vodonosni sloj najbliže površini (Šimunić, 2008). Izvorište se sastoji od četiri izvora: Dadino vrelo, Vrelo u bari, Veliki i Mali bazen. Temperature na izvorištima su relativno niske, a kreću se od 31 do 33,1 °C. Osim kaptiranih izvora povremeno se pojavljuju i manje količine termalne vode koja izvire iz raznih pukotina. U prošlosti je bilo nekoliko neuspješnih pokušaja pridobivanja geotermalne vode temperature više do 33 °C. Početkom sedamdesetih godina izrađena je plitka bušotina čija je izrada obustavljena nakon 150 m jer temperature vode nisu prelazile vrijednost od 30 °C. Godine 1981. INA izrađuje istražnu bušotinu dubine 706 m, a termalna voda je pronađena na dubini od 674 m (slika 4). No nažalost svi daljnji radovi su obustavljeni kada je ustanovljeno da je temperatura u bušotini samo 10 °C viša od temperature vode na izvorištima. Prema kemijskom sastavu geotermalna voda Tuheljskih toplica vrlo je slična ostalim geotermalnim vodama u Hrvatskom zagorju. Karakteriziraju ju povišena koncentracija Cl⁻, Mg²⁺ i HCO₃⁻, a voda sadrži i znatne količine sumporovodika.

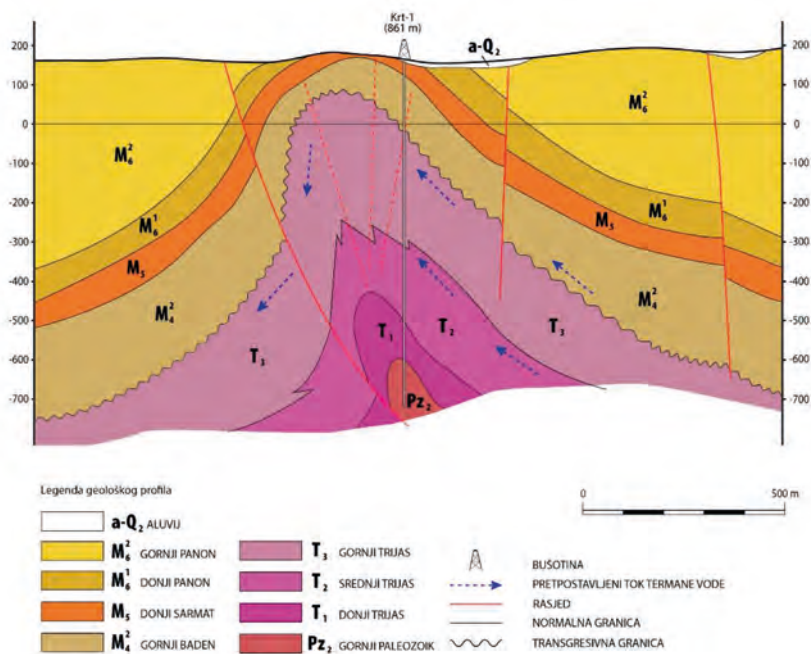


Slika 4. Poprečni geološki profil područja Tuheljskih toplica (Šimunić, 2008)

2.2. Krapinske toplice

Krapinske toplice spadaju među najpoznatija lječilišta u Hrvatskoj. Na području Krapinskih toplica nalaze se tri glavna izvora i nekoliko slabijih duž Topličkog potoka. Glavne geotermalne izvore predstavljaju Jakobova i Pučka kupelj. Temperatura vode na izvorištu je varira od 39,1 do 44 °C ovisno o lokaciji mjerenja. Ako su mjerenja provedena na samom izvoru temperature su maksimalne, a ako su mjerenja provedena na preljevu izvora zabilježena su sniženja od nekoliko stupnjeva što je i očekivano. Svi izvori su kao i u Tuheljskim toplicama smješteni na tjemenu antiklinale koja je na ovom području rasjedana i poremećena (slika 5). Stijene koje izgrađuju tjeme antiklinale su gornjeg miocena,

dok jezgru čine trijaski dolomiti i paleozojski klastiti. Dokazano je kako su uz trijasko dolomite glavni geotermalni vodonosnici i gornjobadenski vapnenci u kojima su se procesima okršavanja formirale brojne spilje i kanali. Na lokaciji izvora Jakobova kupelj izgrađen je bazen koji se koristi za potrebe bolnice, dok je na lokaciji izvora Pučka kupelj izgrađen zdenac promjera 2 m i dubine oko 6 m. U zdenac su ugrađene crpke kapaciteta 14 i 10 l/s, a zahvaćena voda se isto tako koristi za potrebe lječilišta (Crnolatic, 1966).

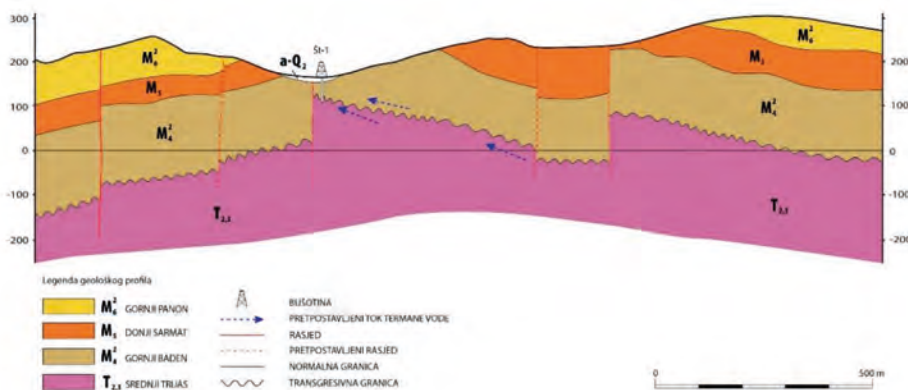


Slika 5. Poprečni geološki profil područja Krapinskih toplica (Šimunić, 2008)

2.3. Šemničke toplice

Šemničke toplice spadaju među slabije poznate toplice Hrvatskog zagorja. Smještene su na zapadnom dijelu Strugače, između Krapinskih i Sutinskih toplica. Strugača je gora visoka 375 m, čiju jezgru čine trijaski dolomiti i vapnenci, a za pojavu termalnog izvora važan je rasjed koji poprečno presjeca goru (slika 6) (Šimunić, 2008). Istraživanjem šireg područja utvrđeno je da se oborinska voda akumulira na južnim padinama Ivanšćice i Strahinšćice, te da se u podzemlje infiltrira okršanim vodopropusnim stijenama prema dnu sinklinale (Šimunić, 2008). Na samom izvoru temperatura vode iznosi 31 °C, a plitkom bušotinom, dubine oko 40 m, otkrivena je geotermalna voda temperature od 39 °C. Izdašnost bušotine iznosi oko 4 l/s bez crpljenja, dok je izdašnost izvora oko 6 l/s (Capar, 1982). Na temelju rezultata hidrokemijske analize prema osnovnom ionskom sastavu uzorci geotermalne vode Šemničkih toplica pripadaju CaMg-HCO₃ tipu voda (Marković et al. 2015). U Šemničkim toplicama zbog relativno niske temperature termalne vode zdravstveni turizam nije nikad razvijen, već se izvorska voda koristila za poljoprivredne svrhe lokalnog stanovništva. Međutim, 2019. godine Krapinsko - zagorska županija je

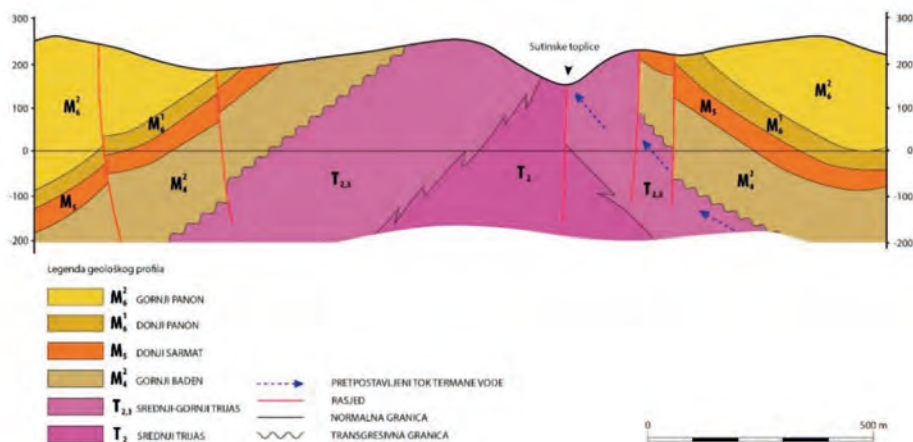
donijela je urbanistički plan uređenja turističko - rekreacijsko područja Šemničke toplice. Cilj izrade plana je aktivacija trenutno neaktivnih termalnih izvora u turističke svrhe, te izgradnja pripadajućih smještajnih kapaciteta i gradnja turističko - rekreacijskog kompleksa. Iz Ministarstva regionalnog razvoja i fondova Europske unije osigurana su sredstva za izradu projektne dokumentacije.



Slika 6. Poprečni geološki profil područja Šemničkih toplica (Šimunić, 2008)

2.4. Sutinske toplice

Sutinske toplice nalaze se u kanjonu Sutinskog potoka koji presijeca istočni dio Strugače, a ujedno i posljednje toplice na linije antiklinalne strukture Tuheljskih i Krapinskih toplica. Na području Sutinskih toplica postoje tri snažnija izvora koji su se koristili za potrebe nekadašnjeg lječilišta. Temperatura izvora varirala je od 30 °C do 37,4 °C (Britvić, 1988). Krajem osamdesetih godina izrađena je bušotina kojom je otkriven vodonosni sloj na dubini od 75 - 385 m. Pokusna crpljenja su pokazala izdašnost od 112 l/s, a temperatura na ušću bušotine varirala je od 38 - 39 °C (Britvić, 1988). Izvori Sutinskih toplica formirani su nakon što se erozijom potok usjekao u vodopropusne dolomite, čime su nestale nepropusne neogenske naslage (slika 7). Prema hidrokemijskoj analizi termalna voda Sutinskih toplica ne razlikuje se bitno od ostalih geotermalnih voda Hrvatskog zagorja, a prema svom osnovom ionskom sastavu pripadaju $CaMg-HCO_3$ tipu kao i Šemničke toplice (Marković et al. 2015). Starost geotermalne vode u Sutinskim toplicama je oko 20.000 godina što je utvrđeno na temelju izotopne analize (Obelić, 1980).



Slika 7. Poprečni geološki profil područja Sutinskih toplice (Šimunić, 2008)

ZAKLJUČAK

Zagorsko geotermalno vodno tijelo zauzima površinu od 653,3 km² na kojem se nalaze neki od najznačajnijih geotermalnih izvora Republike Hrvatske. Na području izdvojenog geotermalnog tijela nalaze se neki od najznačajnijih geotermalnih izvora Hrvatske. Hrvatsko zagorje ima stoljetnu tradiciju korištenja geotermalnih izvora za potrebe lječilišta, balneoterapije, te rekreacijske i turističke svrhe. Prema klasifikaciji geotermalnih izvora Kovačić & Perica, izvori Tuheljskih i Šemničkih toplica spadaju pod hipotermalne izvore, Sutinske pod homeotermalne, dok izvori Krapinskih toplica s najvišim temperaturama spadaju pod hipertermalne izvore. Prema analizi osnovnog ionskog sastava geotermalne vode Hrvatskog zagorja su veoma slične. Hidrokemijske karakteristike termalnih voda posljedica su mineraloško - petrografskog sastava koje izgrađuju termalni dolomitni vodonosnik. Bez obzira na veliki potencijal iskorištavanja geotermalne energije, neka od izvorišta i bušotine su godinama zapuštena, a provedena istraživanja za potrebe Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. pokazala su dobro kemijsko i količinsko stanje Zagorskog geotermalnog vodnog tijela. Osim geotermalnih izvora na području Hrvatskog zagorja postoji i mogućnost korištenja geotermalne energije i putem dizalica topline koje su pogodne za nisko temperaturne sustave grijanja i hlađenja. Uzimajući u obzir napredak tehnologije i istraživačkih metoda, svakako je potrebno nastaviti s geološkim, geofizičkim i hidrogeološkim istraživanjima opisanog područja kako bi se s dodatnim spoznajama o geotermalnom potencijalu Hrvatskog zagorja privukli potencijalni investitori. Nastavak istraživanja geotermalnih izvora na području Hrvatskog zagorja nesumnjivo će doprinijeti razvoju cijele regije.

LITERATURA

- [1] Balaž I.B., Čupić D., Škvorc N. (2021): *Potencijal eksploatacije geotermalne vode na području općine Kumrovec*, Hrvatske vode, Zagreb
- [2] Borović, S. (2015): *Integrirani hidrogeološki - hidrokemijski model Daruvarskog geotermalnog vodonosnika*, Doktorski rad, Rudarsko - geološko - naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu
- [3] Britvić, V. (1988): *Tehnički izvještaj o bušenju i ispitivanju bušotine SUT-3 u Sutinskim toplicama*, Geotehnika, Zagreb
- [4] Capar, A. (1982): *Vodoistražni radovi Šemničke toplice*, Geotehnika, Zagreb
- [5] Crnolatec, I. (1966): *Hidrogeologija područja Krapinske Toplice*, Geotehnika, Zagreb
- [6] EIHP (2018): *Analize i podloge za izradu energetske strategije Republike Hrvatske, Zelena knjiga*, Nacrt, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb
- [7] Hrvatske vode (2022): *Plan upravljanja vodnim područjima do 2027.*, Zagreb
- [8] Kovačić, M. & Perica, R. (1998): *Stupanj korištenja geotermalnih voda u Republici Hrvatskoj*, Hrvatske vode, 25, Zagreb, 355-361
- [9] Kruk, B., Dedić, Ž., Kruk., Lj. i ostali (2014): *Rudarsko - geološka studija Krapinsko - zagorske županije*, Hrvatski geološki institut, Zagreb
- [10] Marković, T., Borović, S. & Larva, O. (2015): *Geochemical characteristics of thermal waters of Hrvatsko zagorje*, Geologia Croatica 68, 1; 67-77
- [11] Marković, T., Sladović, Ž., Larva, O., Brkić, Ž., (2020): *Delineacija i karakterizacija tijela geotermalnih podzemnih voda u Republici Hrvatskoj*, Hrvatski geološki institut, Zagreb
- [12] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja (2023.): *Plan razvoja geotermalnog potencijala Republike Hrvatske do 2030. godine*, Uprava za energetiku, Zagreb
- [13] Obelić, B. (1980): *Rezultati ¹⁴C analize termalne vode iz Hrvatskog zagorja*, INA - Nafta-plin, Zagreb
- [14] Osnovna geološka karta 1:300 000, Hrvatski geološki institut, Zagreb
- [15] Šimunić A. (2008): *Geotermalne i mineralne vode Republike Hrvatske*, Geološka monografija, Hrvatski geološki institut, Zagreb
- [16] Šumanovac, F., Hegedus, E., Orešković, J., Kolar, S., Kovacs, A.C., Dudjak, D. & Kovacs, I. (2016): *Passive seismic experiment and receiver functions analysis to determine crustal structure at the contact of the northern Dinarides and southwestern Pannonian Basin*, Geophys. J., 205, 1420-1436

AUTOR

mag. ing. geol. Hrvoje Herceg ^a

^a Hrvatske vode, Vukovarska 220, Zagreb, 10000, Hrvatska, hrvoje.herceg@voda.hr



R 1.37.

ANALIZA PRIJENOSA MIKROPLASTIKE U AKVATIČNIM SREDINAMA

Toni Holjević, Siniša Družeta, Vanja Travaš

SAŽETAK: Mikroplastika (MP) je danas prisutna u gotovo svim akvatičnim ekosustavima. Povećana proizvodnja i upotreba sintetičkih polimera nametnula je problem MP kao jedan od ključnih izazova ovoga stoljeća. Istraživanja vezana za prisustvo čestica MP u rapidnom su porastu radi ugroze koju ta slabo razgradiva tvar predstavlja za sve organizme. Istraživanja prijenosa čestica MP uglavnom su se fokusirala na taloženje MP u uvjetima mirne vode, dok se manji dio istraživanja odnosi na dinamičke uvjete toka. U ovom radu dan je pregled odabranih istraživanja pronosa MP.

KLJUČNE RIJEČI: Mikroplastika, Numerički model, Fizikalni model

ANALYSIS OF MICROPLASTIC TRANSFER IN AQUATIC ENVIRONMENTS

ABSTRACT: Today, microplastics (MPs) are present in almost all marine ecosystems. The increased production and use of synthetic polymers has imposed the problem of MPs as one of the key challenges of this century. Research related to the presence of MP particles is rapidly increasing due to the threat posed to all organisms by this poorly degradable substance. Research on the transport of MP particles has mostly focused on the deposition of MPs in still water conditions, while a smaller part of the research is related to dynamic flow conditions. In this paper, an overview of previous research on MP transport is provided.

KEYWORDS: Microplastics, Numerical model, Physical model

1. UVOD

Velike količine plastičnog otpada koje završavaju u rijekama i oceanima rezultat su nekontroliranog čovjekovog utjecaja na okoliš i rastuće industrijske proizvodnje. Brojne studije su potvrdile negativan utjecaj plastike na vodene ekosustave. U lipnju 2022. godine, Organizacija za ekonomsku suradnju i razvoj objavila je izvještaj koji predviđa trostruko povećanje proizvodnje plastičnog otpada do 2060. Danas se procjenjuje da godišnje proizvedemo oko 460 milijuna tona plastičnog otpada, dok bi do 2060. godine ta brojka mogla doseći čak 1200 megatona godišnje (OECD, 2022).

U skladu s prethodno spomenutim, treba osigurati odgovarajuću i pravovremenu zaštitu od negativnih utjecaja plastičnog otpada na okoliš. Potrebno je poduzeti sustavne mjere putem istraživanja usmjerenih na izvor i gibanje plastike (taloženje plastičnog otpada) kako bi se uspješno definirale preventivne mjere protiv njegovog unošenja. Također je važno razmotriti istraživanja koja se bave modeliranjem gibanja (prijenosa) plastičnog otpada, što bi omogućilo prognoziranje stanja i definiranje adekvatnih mjera zaštite.

U literaturi se navode razne kategorizacije plastike prema veličini, a u novije vrijeme najčešće se koristi podjela uzoraka u 4 kategorije: (i) makroplastika za uzorke veće od 200 mm, (ii) mezoplastika za uzorke u rasponu od 5 do 200 mm (iii) mikroplastika (MP) za uzorke u rasponu od 0,001 do 5 mm te (iv) nanoplastika za uzorke u rasponu od 1 do 100 nm.

Prema navedenoj klasifikaciji, MP se definira kao polimerni fragmenti čija veličina ne prelazi 5 mm. Veličina, oblik i gustoća su ključni parametri koji značajno utječu na taloženje MP. Karakteristike plastičnog otpada mogu se značajno razlikovati ovisno o vrsti onečišćenja kojim se unosi. Najčešće vrste plastike u vodenim okolišima su: (i) PE (polietilen) plastika s gustoćom koja varira od 900 do 999 kg/m³, (ii) PP (polipropilen) plastika s gustoćom koja varira od 850 do 950 kg/m³, (iii) PS (polistiren) plastika s gustoćom koja varira od 950 do 1.100 kg/m³, te (iv) PET (polietilen-tereftalat) plastika s gustoćom od 1.380 kg/m³. U kontekstu vertikalnog gibanja MP, važno je prepoznati da se čestice mogu podijeliti na one koje imaju negativni uzgon i one koje imaju pozitivni uzgon. Nedavne studije (OECD, 2022) pokazuju da više od polovice proizvedenog plastičnog otpada ima gustoću veću od vode, što rezultira česticama MP koje dominantno tonu u vodnim ekosustavima.

MP u morima i oceanima može se podijeliti u dvije glavne kategorije: primarna MP i sekundarna MP (Andrady, 2011). Primarnom MP nazivamo ciljano proizvedene plastične čestice ili vlakna koje se koriste u različitim proizvodima. Ona ulazi direktno u okoliš bez prethodnih procesa raspadanja i degradacije. Karakteriziraju je oblici kao što su: mikro-zrnca (sferične čestice koje se koriste u proizvodima za osobnu njegu), peleti (plastične kuglice koje se koriste kao sirovina u proizvodnji) te vlakna (sićušne niti sintetičkih vlakana koje se oslobađaju iz tekstila). Sekundarnu MP čine čestice plastike koje su nastale razgradnjom već postojećih makroplastičnih predmeta. Ova vrsta plastičnog otpada formira se najčešće procesima kao što su abrazija, kemijska razgradnja i foto - degradacija.

U ovom radu dan je sažet pregled dosada provedenih istraživanja na području prijenosa MP.

2. EKSPERIMENTALNE STUDIJE PRIJENOSA-GIBANJA MIKROPLASTIKE

Eksperimentalne studije o MP podrazumijevaju kontrolirane laboratorijske eksperimente dizajnirane radi istraživanja gibanja i utjecaja MP na okolinu. Teme kojima se ove studije bave mogu se podijeliti u podskupine kao što su:

- transport MP - način gibanja MP u različitim ekološkim sustavima, kao što su oceani i mora,
- ekološki utjecaj MP - učinak MP na organizme i ekosustave,

- akumulacija MP - unos i nakupljanje MP u organizmima i njihov potencijalni prijenos kroz hranidbeni lanac,
- studije toksičnosti - toksični učinci MP i s njom povezanih kemikalija na organizme,
- razgradnja MP - procesi razgradnje i trošenja MP u različitim uvjetima okoliša,
- sanacija i ublažavanje - metode i tehnologije uklanjanja ili smanjenja onečišćenja MP.

Jednu od prvih eksperimentalnih studija prijenosa - gibanja MP proveli su (Khatmulina i Ishachenko, 2016). U svom su radu mjerili terminalnu brzinu taloženja MP različitih veličina, oblika i gustoće. Eksperiment je proveden u statičkim uvjetima toka pomoću staklene epruvete unutar koje je mjerena brzina taloženja. Osnovna pretpostavka eksperimenta bila je mogućnost korištenja postojećih izraza za prijenos sedimenta u predviđanju gibanja MP. U eksperimentu su uzeti uzorci veličine od 0,5 do 5 mm, oblika sfere, cilindra i štapića, a korištena je plastika vrste: polikaprolakton (gustoće 1.131 kg/m³) i komadići dobiveni iz ribarskih mreža (gustoća 1.130 - 1.168 kg/m³). Rezultati su pokazali kako pouzdanost postojećih predviđanja značajno ovisi o pravilnosti i obliku čestica. Čestice MP karakteriziraju različiti oblici i veličine te se sukladno tome pokazalo kako izrazi za prijenos sedimenta nisu dostatni za analizu gibanja MP. Također je naglašen utjecaj oblika čestica na brzinu taloženja i potreba za nastavkom eksperimentalnih istraživanja uz korištenje MP dobivene iz okoliša.

U radu (Waldschlager i Schuttrumpf, 2019) također je potvrđena pretpostavka kako se ponašanje MP značajno razlikuje od ponašanja čestica sedimenta. Korištene su plastične čestice sljedećih vrsta: polipropilen (PP), polietilen (PE), polistiren (PS), polivinil - klorid (PVC), i reciklirana plastika (PET). Analizirani su sljedeći oblici čestica: peleti, niti i folije veličine 0,3 do 5 mm. Na temelju provedenog istraživanja, predloženi su novi izrazi za izračun brzine taloženja koji se mogu koristiti u svrhu točnijeg opisa ponašanja MP unutar numeričkih simulacija. Ovaj eksperiment također je proveden u statičnim uvjetima te je ustanovljeno kako je za unaprjeđenje razumijevanja ponašanja MP potrebno ispitati i spektar dinamičkih uvjeta gibanja. Takav dinamički eksperiment proveli su (Wang i drugi, 2021) u svom istraživanju brzine taloženja čestica MP nepravilnih oblika. Za uspostavljenе dinamičke uvjete gibanja staklena epruveta postavljena je na horizontalni uređaj koji ima mogućnost vibracije. Rezultati su pokazali da je brzina taloženja manja kod dinamičkih u usporedbi sa statičkim uvjetima. Također je potvrđeno kako su veličina i oblik čestica među dominantnim parametrima prijenosa MP. Korištene su četiri vrste MP: polistiren, poliamid, polietilen i polivinil klorid, oblika sfere, elipsoida i fragmenata. Potvrđena je pretpostavka kako su brzine taloženja značajno manje za čestice nepravilnog oblika u usporedbi sa MP sferičnog oblika. Predložen je model za izračun brzine taloženja temeljem podataka o obliku, gustoći i veličini čestica MP.

Jedan od najobuhvatnijih pregleda modelskog pristupa određivanju brzine taloženja prikazan je u radu (Melkebeke i drugi, 2020). U njemu je dan pregled i usporedba 11 različitih modela za određivanja koeficijenta otpora c_d čestica MP od kojih svaki vrijedi za određeni raspon Reynoldsovog broja. Eksperiment je proveden u statičkim uvjetima, a uzorci su dobiveni iz prikupljenog plastičnog otpada. Uzorci veličine između 0,1 i 5 mm sastojali su se od plastike tipa: PET, HDPE, PP, PS, PE i PVC u obliku granula ili tanke folije.

Iz svih provedenih istraživanja slijedi da bi bilo vrlo korisno općenito poznavati utjecaj

oblika čestica na prijenos MP. Za to je potrebno uvesti adekvatnu parametrizaciju oblika čestica MP i povezati usvojene parametre oblika s koeficijentom otpora c_d . U radu je dan pregled 7 različitih bez dimenzijskih parametara koji se koriste u izrazima za c_d . U ovom slučaju za opisivanje 1-D i 2-D oblika najbolji su se pokazali faktor sferičnosti ϕ i faktor cirkularnosti λ . Rezultati su pokazali važnost ispravnog definiranja parametra oblika pri modeliranju prijenosa MP.

U radu (Holjević i drugi, 2023) analiziran je prijenos MP u horizontalnoj struji vode. Laboratorijskim eksperimentom posredno se mjeri koeficijent otpora oblika c_d za približno radijalno simetrične oblike čestica različitih oblika i veličina. Za produkciju čestica MP korišten je 3D printer visoke preciznosti, a mjerenja su se odvijala unutar eksperimentalnog kanala u sklopu hidrotehničkog laboratorija (Slika 1.). Rezultati su pokazali da oblik čestica unutar struje fluida značajno utječe na koeficijent otpora oblika čestica s kompleksnim odnosom koeficijenta otpora i uvjeta gibanja.



Slika 1. Prikaz eksperimentalnog kanala u sklopu hidrotehničkog laboratorija Sveučilišta u Rijeci. (Preuzeto iz rada Holjević et al [7])

Većina dosada poznatih studija bavila se eksperimentalnim proučavanjem svojstava MP u statičkim uvjetima toka. Proces prijenosa i taloženja MP u moru odvija se pod stalnim utjecajem vanjskih faktora kao što su vjetar, valovi i morske struje. Za unaprjeđenje postojećih i konstrukciju novih poboljšanih numeričkih modela posebno je važno eksperimentalno ispitati karakteristike MP u dinamičkim uvjetima. Zbog male karakteristične veličine čestica ali i velike varijacije oblika posebni izazov predstavlja osigurati kontrolirane uvjete eksperimenta.

3. NUMERIČKA ANALIZA PRIJENOSA-GIBANJA MIKROPLASTIKE

Općenito se pristup numeričkog modeliranja pokazao kao snažan alat u pogledu predviđanja transporta tijela unutar vodenih sustava. Na polju hidrodinamike, za čestice tipa prirodnog sedimenta i organskih mikroorganizama postoje brojne studije temeljene na razumijevanju ponašanja čestica u vodnom tijelu. Kada je riječ o proučavanju dina-

mike čestica plastike u akvatičnim sredinama, napravljeni su tek početni iskoraci na polju numeričke analize.

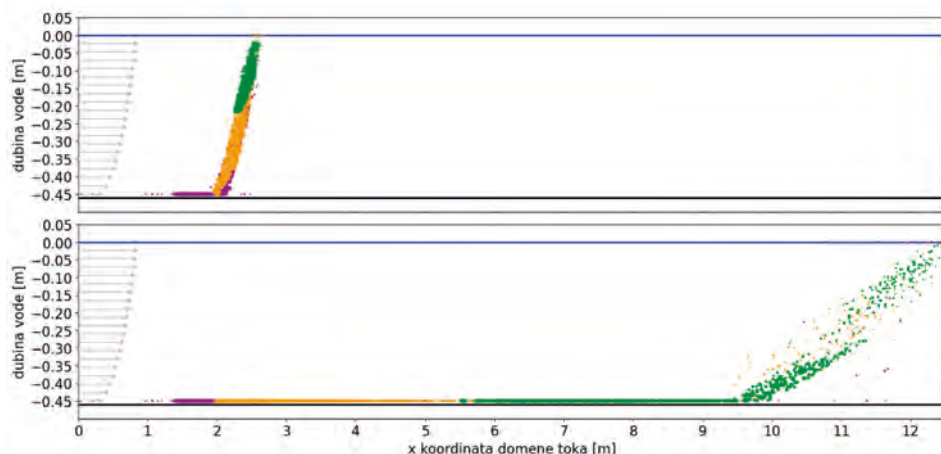
Jedan od prvih pristupa bio je jedno - dimenzijski model (1D) vertikalnog transporta i distribucije MP. Kukulka i Brunner (Kukulka i Brunner, 2015) analizirali su utjecaj turbulencije u površinskom graničnom sloju oceana na vertikalnu distribuciju čestica. Prvi dio ispitivanja odnosi se na utjecaj morskih valova na vertikalnu distribuciju čestica, a temeljen je na tzv. „large eddy“ simulacijama (LES). Drugi dio istraživanja odnosi se na kombiniranje 1D parametarskog modela s uspostavljenim LES modelom turbulencije za dobivanje vertikalne distribucije MP na široj morskoj domeni.

Autori u radu (Chubarenko i drugi, 2016) temeljem pojednostavljenih numeričkih modela razmatrali su opća fizikalna i dinamička svojstva čestica MP. Analiziran je transport čestica oblika sfere, folije i vlakna na domeni veličine Baltičkog mora za pretpostavljene idealne vanjske okolišne uvjete. Ova studija jedna je od važnijih prvih koraka prema kompleksnijim numeričkim modelima prijenosa čestica MP u vodenom stupcu mora.

Grupa autora (Enders i drugi, 2015) analizirali su razliku u dominantom utjecaju uzgonske sile odnosno turbulencije na vertikalnu distribuciju polietilenske MP triju različitih veličina. Rezultati su pokazali da je vrijeme zadržavanja u gornjim slojevima vodnih tijela proporcionalno veličini čestice MP, odnosno da se manje čestice MP kraće zadržavaju na površini.

Među prvim modelima prijenosa MP koji je u obzir uzimao temperaturu, gustoću, slanost, viskoznost i rast biofilma spominje se (Kooi i drugi, 2017) Koristeći realne parametre, model simulira transport čestica plastike u vremenu te predviđa hoće li iste tonuti, plutati ili ostati u stanju suspenzije. Rezultati su pokazali da se najveća koncentracija plastike pojavljuje na srednjim dubinama što posljedično ukazuje na opasnost prema potencijalno ugroženim vrstama u tom dijelu ekosustava oceana.

(Travaš i drugi, 2021) dali su prijedlog numeričkog modela za modeliranje prijenosa čestica MP u nehomogenom polju brzine fluida u ravninskom i laminarnom toku. Korišten je Lagrangeov opis prijenosa - gibanja čestica radi definiranja reprezentativnog elementarnog volumena (REM) i kontinuiranog polja koncentracije. Predloženi model temelji se na sustavu od dvije nelinearne diferencijalne jednačbe. Primjer rezultata numeričkog modela prikazan je na Slici 2.



Slika 2. Prostorni raspored ispitane uzorka čestice MP u dva vremenska trenutka. Ljubičasta boja ilustrira prostorne čestice (3D), žuta boja ravninske čestice (2D) te zelena boja linijske čestice (1D). (Preuzeto iz rada Travaš [12])

Kada je riječ o općenitom pristupu modelskoj problematici na području MP prevladavaju modeli s Lagrangeovim pristupom. Pristup temeljen na uvođenju „virtualnih čestica“ koje se slobodno kreću kroz domenu modela najčešće se koristi za predviđanje gibanja manjih čestica u koje se ubraja i MP. Većina dostupnih podataka o plastičnom otpadu u oceanima odnosi se na plutajuće površinske uzorke, pa se tako i modeli s Lagrangeovim pristupom odnose na transport plutajućih čestica. Za uspostavu modela s razmjerno većom domenom, posebno je bitno korištenje dostupnih modela strujanja vodnih masa („ocean circulation models“). Kombinacijom globalnih hidrodinamičkih modela s modelima transporta MP uspješno su dobivene generalne putanje gibanja plastičnog otpada u oceanima. Za detaljnije predviđanje količina i gibanja MP potrebno je značajno proširiti postojeću bazu podataka iz terenskih istraživanja. Velike razliku u ispuštenim količinama plastičnog otpada i onih koje predviđaju modeli također se objašnjavaju i postojanjem dodatnih procesa razgradnje i uklanjanja plastike iz okoliša, a koji nisu prepoznati postojećim modelima.

ZAKLJUČAK

Kod analize prijenosa - gibanja čestica MP važno je precizno odrediti utjecaj karakteristika čestica na procese prijenosa i taloženja. Kao najvažnije karakteristike koje utječu na gibanja MP najčešće se izdvajaju gustoća, oblik i veličina čestica. Dosadašnji eksperimenti na polju istraživanja tonjenja čestica MP i sila koje na njih djeluju pretežno su se vezali za statične uvjete gibanja, koji se ne pojavljuju često u uvjetima prirodnog okoliša. U novije vrijeme napravljeni su početni iskoraci na eksperimentalnoj analizi prijenosa plastike u dinamičkim uvjetima toka. Numerički modeli pokazali su pouzdanost kod predviđanja količine i gibanja plutajuće površinske MP. Izazovi koji se nameću u polju numeričkog modeliranja su heterogeni sastav plastičnog otpada u pogledu veličine, oblika i gustoće te dinamika promjene karakteristika MP uslijed djelovanja okolišnih uvjeta.

Eksperimentalna istraživanja kao i numerički modeli predstavljaju još jedan od izazova u razumijevanja gibanja MP. Kompleksnost problema definirana je velikim rasponom karakteristika plastičnog otpada, kao i relativno male baze podataka o stanju plastike u morskom okolišu.

LITERATURA

- [1] Andrady, A.L. *Microplastics in the marine environment*. Mar. Pollut. Bull. 2011, 62, 1596–1605.
- [2] Chubarenko, I., Bagaev, A., Zobkov, M., and Esiukova, E. 2016. *On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment*. Mar. Pollut. Bull. 108(1–2): 105–112.
- [3] Enders, K., Lenz, R., Stedmon, C.A., and Nielsen, T.G. 2015. *Abundance, size and polymer composition of marine microplastics $\geq 10 \mu\text{m}$ in the Atlantic Ocean and their modelled vertical distribution*. Mar. Pollut. Bull. 100(1):70–81.
- [4] Holjević, T.; Travaš, V.; Družeta, S.; Holjević, D. *Experimental Assessment of Drag Coefficient for Quasi-Radially-Symmetric Microplastic Particles Sinking in Water Stream*. J. Mar. Sci. Eng. 2023, 11, 549.
- [5] Khatmullina, L.; Isachenko, I. *Settling velocity of microplastic particles of regular shapes*. Marine Pollution Bulletin 2016, 114.
- [6] Kooi, M., Nes, E.H.V., Scheffer, M., and Koelmans, A.A. 2017. *Ups and downs in the ocean: Effects of biofouling on vertical transport of microplastics*. Environ. Sci. Technol. 51(14): 7963–7971.
- [7] Kukulka, T., and Brunner, K. 2015. *Passive buoyant tracers in the ocean surface boundary layer: 1. Influence of equilibrium wind-waves on vertical distributions*. J. Geophys. Res.: Oceans, 120(5): 3837–3858.
- [8] Melkebeke, M.; Janssen, C.; Meester, S. *Characteristics and sinking behavior of typical microplastics including the potential effect of biofouling: Implications for remediation*. Environ. Sci. Technol. 2020, 54, 8668–8680.
- [9] OECD.org. Available online: <https://www.oecd.org/environment/global-plastic-waste-set-to-almost-triple-by-2060.htm> (ac-cessed on 12 June 2022).
- [10] Travaš, V., Kranjčević, L., Družeta, S., Holjević, T., Lučin, I., Alvir, M., ... Sikirića, A. (2021). *Model gibanja čestica mikroplastike u nehomogenom i laminarnom polju brzine*. Hrvatske vode, 29 (117), 201-213.
- [11] Waldschlager, K.; Schuttrumpf, H. *Effects of particle properties on the settling and rise velocities of microplastics in freshwater under laboratory conditions*. Environ. Sci. Technol. 2019, 53, 1958–1966.
- [12] Wang, Z.; Dou, M.; Ren, P.; Sun, B.; Jia, R.; Zhou Y. *Settling velocity of irregularly shaped microplastics under steady and dynamic flow conditions*. Environ. Sci. Pollut. Res. 2021, 28, 62116–62132.

AUTORI

Toni Holjević mag. ing. aedif. ^a

prof. dr. sc. Siniša Družeta, dipl. ing. stroj. ^b

prof. dr. sc. Vanja Travaš dipl. ing. građ. ^c

^a Hidroprojekt - ing, Draškovićeva 35/1, Zagreb 10000, Hrvatska, tholjevic@hp-ing.hr

^b Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Vukovarska 58, Rijeka 51000, Hrvatska, sinisa.druzeta@riteh.hr

^c Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka 51000, Hrvatska, vanja.travas@uniri.hr



R 1.38.

UTJECAJ PROSTORNO - VREMENSKIH VARIJACIJA POKAZATELJA NA REPREZENTATIVNOST OCJENE KAKVOĆE MORA ZA KUPANJE

**Slaven Jozić, Ana Vrdoljak Tomaš, Darija Vukić Lušić, Arijana Cenov,
Marin Glad, Danijela Peroš-Pucar, Katarina Kurić, Marin Ordulj,
Tatjana Puljak, Dolores Grilec, Mladen Šolić, Damir Ivanković**

SAŽETAK: U ovom je radu istraživana utjecaj prostornih i vremenskih varijacija koncentracija pokazatelja mikrobiološke kakvoće mora za kupanje na ocjenu kakvoće mora za kupanje na 11 plaža na hrvatskoj obali Jadrana, podložnih kratkotrajnim onečišćenjima. Utvrđene su značajne, kako prostorne tako i vremenske varijacije obaju pokazatelja, crijevnih enterokoka i *Escherichia coli*. Na 22 od 40 kontrolnih točaka zabilježena je različita godišnja ocjena kakvoće temeljena na rezultatima uzorkovanja u različito doba dana, od kojih je na 13 točaka ocjena kakvoće bila lošija u popodnevnom nego u jutarnjim satima. Na šest od 13 kontrolna točka iz službenog (nacionalnog) monitoringa mora za kupanje, kakvoća mora je bila bolja od kakvoće na ostalim točkama na istoj plaži, što ukazuje na činjenicu da službena točka nije bila reprezentativna za cijelu plažu, jer precjenjuje kakvoću mora, odnosno podcjenjuje rizik za zdravlje kupaca. Rezultati ukazuju na potrebu preispitivanja načina određivanja kontrolne točke na plažama podložnim kratkotrajnim onečišćenjima, ali i doba dana kad bi se trebalo obavljati uzorkovanje morske vode za određivanje kakvoće mora za kupanje.

KLJUČNE RIJEČI: Prostorno - vremenske varijacije, Kakvoća mora, Pokazatelji kakvoće, Monitoring

INFLUENCE OF SPATIO - TEMPORAL VARIATIONS OF INDICATORS ON THE REPRESENTATIVITY OF THE ASSESSMENT OF SEAWATER QUALITY FOR BATHING

ABSTRACT: This paper investigated the influence of spatial and temporal variations in indicators of microbiological seawater quality on the assessment of seawater bathing quality of 11 beaches on the Croatian Adriatic coast exposed to short-term pollution. Significant spatial and temporal variations of both indicators, intestinal enterococci and *Escherichia coli*, were determined. At 22 out of 40 control points, a different annual quality assessment was determined based on the results of sampling at different day times,

with 13 points having worse quality in the afternoon than in the morning. At 6 out of 13 control points from the official (national) monitoring of seawater for bathing, the seawater quality was better than its quality at other points on the same beach, indicating that the official points were not representative of the whole beach because they overestimate seawater quality, i.e. underestimate the health risk for bathers. The results indicate a need for reconsidering the manner in which control points are determined on beaches exposed to short-term pollution, but also the time of day when seawater sampling to determine the quality of seawater for bathing should be performed.

KEYWORDS: Spatio - temporal variations, Seawater quality, Faecal indicator bacteria, Monitoring

1. UVOD

Turizam je Hrvatskoj jedna o najvažnijih gospodarskih grana, čineći ukupno oko 20 % BDP-a. Iako Hrvatska obiluje prirodnim ljepotama, nacionalnim parkovima, parkovima prirode, povijesnim znamenitostima i gradovima pod zaštitom UNESCO-a, najveći udio u turizmu predstavlja kupanje i rekreacija na moru, što Hrvatsku čini državom ekonomski visoko ovisnom o ovoj vrsti turizma. Prema mnogim istraživanjima jedan od najvažnijih čimbenika pri odabiru turističke destinacije, kad su u pitanju kupanje i rekreacija na moru, je kakvoća mora za kupanje (Preißler, 2009; Dodds i Holmes, 2018; Slater i Mearns, 2018), što ovaj parametar nameće kao jedan od ključnih čimbenika za ekonomiju otočnih i obalnih gradova ovisnih o turizmu. Stoga bi trebao biti imperativ u navedenim područjima posebnu pozornost posvetiti postizanju i održavanju izvrsne kakvoće mora za kupanje. Praćenje kakvoće mora za kupanje u Hrvatskoj u nadležnosti je županija, a svaka bi lokalna zajednica, općine i gradovi, trebali osigurati uvjete za održavanje što bolje kakvoće mora. Upravljanje kakvoćom mora za kupanje regulirano je Uredbom o kakvoći mora za kupanje (Narodne novine, broj 73/08), kojom je u potpunosti transponirana Direktiva Europske Unije o upravljanju kvalitetom vode za kupanje (2006/7/EC). Uredbom su između ostalog propisani kriteriji i standardi kakvoće mora za kupanje, praćenje kakvoće mora za kupanje, razvrstavanje mora za kupanje, obavještavanje javnosti o kakvoći mora za kupanje. Praćenje se obavlja uzimanjem uzoraka morske vode i ispitivanjem pokazatelja kakvoće, *Escherichia coli* (*E. coli*) i crijevnih enterokoka, na svakoj službeno određenoj plaži tijekom sezone kupanje, svaka dva tjedna. Prema Uredbi, na pješčanoj ili šljunkovitoj plaži određuju se po jedna točka uzorkovanja na svakih 100 m dužine, na mjestima gdje se očekuje najveći broj kupaca ili gdje se, prema profilu mora za kupanje, očekuje najveći rizik od onečišćenja. Na ostalim plažama određuje se po jedna točka na svakih 200 m dužine, na mjestima gdje se očekuje najveći broj kupaca ili gdje se, prema profilu mora za kupanje, očekuje najveći rizik od onečišćenja. Na ušću vodotoka u more, priobalnog izvora i vrulja te na mjestima gdje postoji najveći rizik od onečišćenja određuje po jedna točka. Uzorkovanje se u pravilu obavlja u prijepodnevnim satima, neovisno o očekivanoj dinamici mogućeg onečišćenja. Za kvalitetno i pouzdano određivanje reprezentativne točke i vremena uzorkovanja na plaži, trebalo bi dobro poznavati područje, moguće izvore onečišćenja te dinamiku vjetra i mora, što zahtijeva stručni i znanstveni pristup, a nerijetko i istraživanja. S obzirom na veliki broj plaža na Hrvatskoj obali, a time i veliki broj kontrolnih točaka, određivanje točaka uzorkovanja

najčešće se temelji na procjeni temeljem profila plaže, čija je izrada obavezna za sve plaže. Često profil plaže nije dovoljan za pouzdano i kvalitetno određivanje reprezentativne točke i vremena uzorkovanja što može rezultirati činjenicom da rezultati praćenja kakvoće mora ne predstavljaju stvarne rezultate, a time i ocjena kakvoće nije pouzdana. Rezultat je precjenjivanje kakvoće mora za kupanje, odnosno podcjenjivanje rizika za zdravlje kupaca, što može imati negativne posljedice, kako na zdravlje kupaca i okoliša, tako i na rejting turističkog odredišta.

Cilj ovoga rada je istražiti prostorne i vremenske varijacije brojnosti pokazatelja kakvoće mora za kupanje, *E. coli* i crijevnih enterokoka te njihov utjecaj na pouzdanost ocjene kakvoće mora.

2. MATERIJALI I METODE

2.1 Područje istraživanja

Istraživanje je provedeno na 11 službenih plaža na području Rijeke, Zadra, Kaštela i Dubrovnika, tijekom sezone kupanja u 2022. godini. Na svakoj od plaža je osim službene točke, kojih je ukupno 13 (plaže Kantrida bazen i Kantrida imaju po dvije službene točke praćenja), određeno i nekoliko dodatnih točaka ispitivanja, ukupno njih 40 (Tablica 1). Na svim odabranim plažama su u zadnjih nekoliko godina zabilježena povremena ili česta kratkotrajna onečišćenja, što zbog nekontroliranih kanalizacijskih ispusta, što zbog povremenih havarija postojećeg sustava odvodnje otpadnih voda.

Tablica 1. Područje istraživanja i točke uzorkovanja. Točke označene zlatom su službene točke iz nacionalnog programa praćenja kakvoće mora za kupanje

Područje	Naziv službene točke na plaži	Broj točaka	Oznaka točaka
Rijeka	Kantrida bazen - zapad	2	VR4-3, VR4-4
	Kantrida bazen - istok	2	VR4-1, VR4-2
	Plaža ispod nogometnog igrališta	2	VR3-1, VR3-2
	Kantrida - zapad	2	VR1-3, VR1-4
	Kantrida - istok	2	VR1-1 , VR1-2
	Kantrida rekreacijski centar 3. maj	2	VR2-1 , VR2-2
Zadar	Vitrenjak	4	VZ1-1, VZ1-2 , VZ1-3, VZ1-4
	Jadran	4	VZ2-1, VZ2-2, VZ2-3 , VZ2-4
Kaštela	Torac	4	VK3-1, VK3-2 , VK3-3, VK3-4
	Kamp	3	VK2-1, VK2-2 , VK2-3
	Gojača	5	VK1-1, VK1-2 , VK1-3, VK1-4, VK1-5
Dubrovnik	Hotel Rixos	4	VD1-1, VD1-2 , VD1-3, VD1-4
	Danče	4	VD2-1, VD2-2 , VD2-3, VD2-4

2.2 Uzorkovanje i ispitivanje

Uzorkovanje morske vode obavlja se svakih dva tjedna u jutarnjim i popodnevnim satima. Uzorci su do laboratorija dostavljani u ručnim prijenosnim hladnjacima te ispitivani neposredno nakon dostavljanja, najduže 3 h od uzorkovanja. Određivanje pokazatelja mikrobiološke kakvoće, *E. coli* i crijevnih enterokoka, obavlja se standardnim metodama membranske filtracije. *E. coli* je određivana temperaturno izmijenjenom ISO 9308-1:2014 metodom (Jović i drugi, 2018) dok su crijevni enterokoki određivani ISO 7899-2:2000. Rezultati ispitivanja izražavani su kao broj izraslih kolonija u volumenu ispitivanog uzorka (bik/100 mL).

2.3 Ocjena kakvoće morske vode

Kategorija kakvoće mora za godišnje ocjene određivana je na kraju sezone, temeljem 90-og i 95-percentila pokazatelja svih uzoraka u sezoni kupanja, prema kriterijima Uredbe prikazanim u tablici 2.

Tablica 2. Standardi za ocjenu kakvoće mora na kraju sezone kupanja prema Uredbi o kakvoći mora za kupanje

Pokazatelj	Izvrсна	Dobra	Zadovoljavajuća	Nezadovoljavajuća
Crijevni enterokoki (bik/100 mL)	≤100*	≤200*	≤185**	>185**(1)
<i>Escherichia coli</i> (bik/100 mL)	≤150*	≤300*	≤300**	>300**(1)

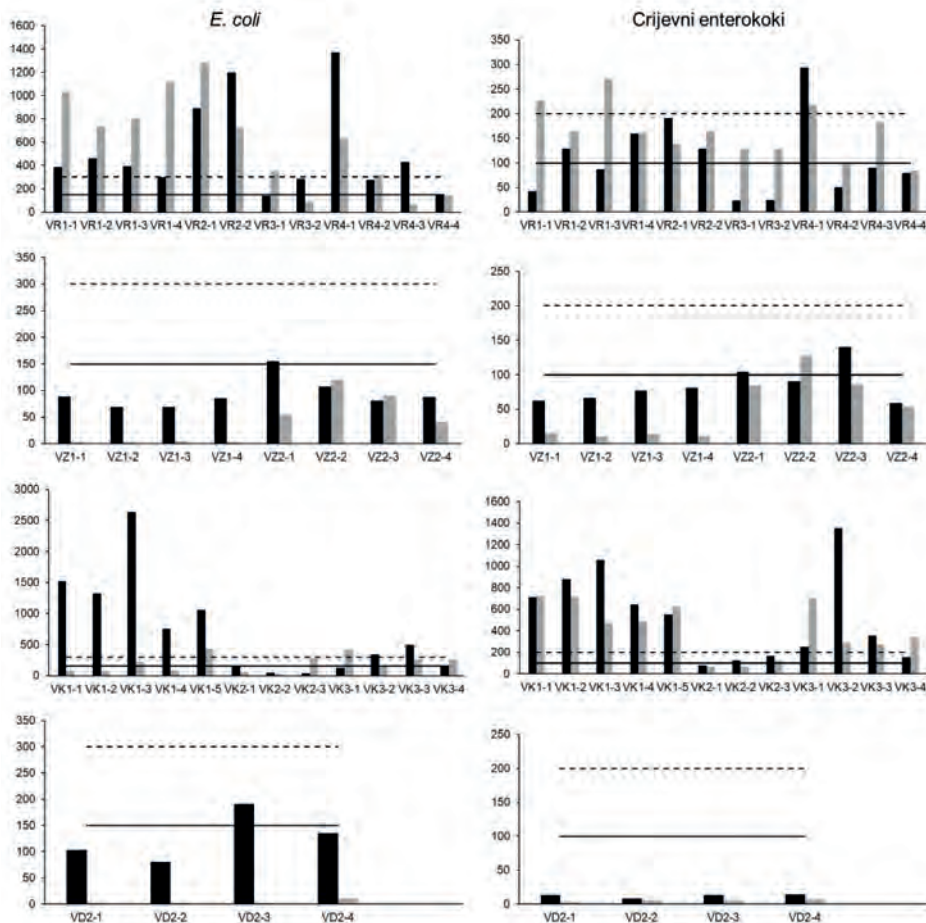
* Temeljeno na vrijednosti 95-og percentila

** Temeljeno na vrijednosti 90-og percentila

(1) Trenutačno djelovanje za pojedinačne uzorke, ukoliko broj crijevnih enterokoka prijeđe 300 bik/100 mL, *E.coli* 500 bik/100mL

3. REZULTATI I RASPRAVA

Iako se kategorije kakvoće mora za kupanje određuje na temelju dvije različite vrijednosti, 90-og (zadovoljavajuća i nezadovoljavajuća) i 95-og percentila (izvrсна i dobra) rezultata svih ispitivanja u sezoni, radi jednostavnijeg prikazivanja rezultata, na slici 1 prikazan je samo 95-i percentil obaju pokazatelja. Vrijednosti 95-percentila *E. coli* u velikom su broju slučajeva prešle granicu dobre kakvoće mora na području Rijeke i Kaštela, i to na plažama Kantrida, Kantrida rekreacijski centar 3. maj i Gojača. Na navedenim plažama se već godinama bilježe lošiji rezultati kakvoće mora za kupanje (Vukić Lušić i drugi, 2017; Jozić i drugi, 2022). Na plaži Kantrida vrijednosti *E. coli* znatno su više u popodnevnim satima dok su na plaži Gojača više u jutarnjim satima. Na području Zadra i Dubrovnika, zabilježeno je po jedno prekoračenje granice izvrсне kakvoće, a 95-percentil *E. coli* uglavnom je viši kad je izračunat temeljem jutarnjih uzoraka. S obzirom na negativan učinak okolišnih čimbenika, osobito Sunčevog zračenja, na vrijeme zadržavanje *E. coli* u moru (Fujioka i drugi, 1981; Sinton i drugi, 1994; Jozić i drugi, 2014), donos onečišćenja na svim istraživanim područjima, osim na području Kantride, značajniji je u jutarnjim satima.

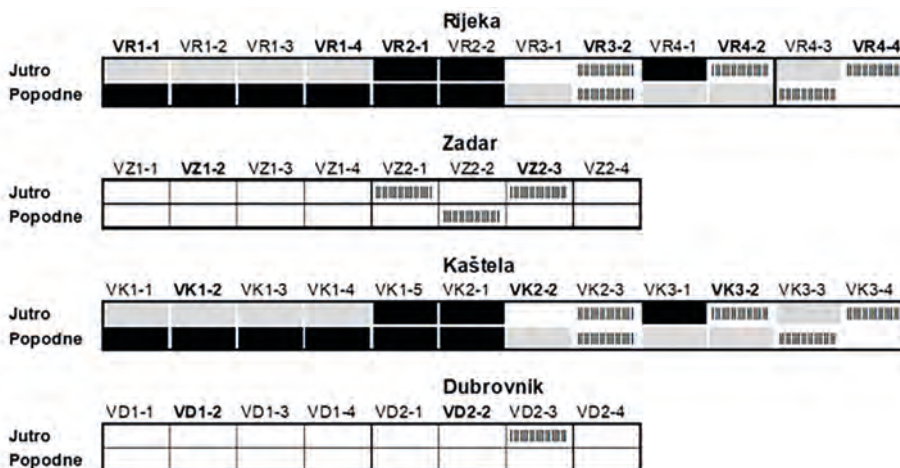


Slika 1. 95-i percentil (bik/100 mL) pokazatelja mikrobiološke kakvoće mora za kupanje na područjima istraživanja za 2022. godinu. Puna crta – gornja granica za izvrsnu kakvoću; isprekidana crta – gornja granica za dobru kakvoću; crni stupići – jutarnje uzorkovanje; sivi stupići – popodnevno uzorkovanje)

Na plaži Kantrida, ali i na većini kontrolnih točaka na području Rijeke, vrijednosti 95-og percentila crijevnih enterokoka bile su više u popodnevним nego u jutarnjim satima. To je vjerojatno rezultat akumuliranja enterokoka iz novog onečišćenja i iz onečišćenja od prethodnog dana, s obzirom na njihovu značajno veću otpornost na negativno djelovanje okolišnih čimbenika u odnosu na otpornost *E. coli* (Fujioka i drugi, 1981; Šolić i Krstulović, 1993; Davies-Cooley i drugi, 1994). S obzirom da su u popodnevним satima više i vrijednosti *E. coli*, može se zaključiti da je na navedenom području onečišćenje intenzivnije u popodnevним satima. Na većini ostalih područja u popodnevним satima vrijednosti crijevnih enterokoka bile su uglavnom niže nego u jutarnjim satima. S obzirom da su i vrijednosti *E. coli* bile niže u popodnevним satima, a čija je brojnost u odnosu na brojnost crijevnih enterokoka značajnije smanjena, može se pretpostaviti da se na na-

vedenim područjima radi o jutarnjem onečišćenju koje se tijekom dana reducira, a da pri tome ne dolazi do novog onečišćenja.

Konačan pregled godišnjih ocjena kakvoće mora, temeljenih na rezultatima oba pokazatelja prikazan je na slici 2. Od 22 točke na kojima je temeljem koncentracija pokazatelja, *E. coli* i crijevnih enterokoka, utvrđena razlika u kakvoći mora između jutarnjih i popodnevni uzoraka, na 13 točaka godišnja ocjena kakvoće mora bila je lošija u popodnevni satima. Razlog ovakvih vremenskih varijacija kakvoće mora za kupanje može biti onečišćenje koje se događa nakon što je obavljeno jutarnje uzorkovanje, što ukazuje na činjenicu da ocjene kakvoće mora temeljene na rezultatima jutarnjih uzorkovanja nisu reprezentativne za navedena područja istraživanja. Nadalje, na šest od 13 praćenih plaža (VR3-2, VR4-2, VR4-4, VK2-2, VK3-2 i VD2-2), kontrolna točka iz službenog (nacionalnog) monitoringa mora za kupanje nije bila reprezentativna za cijelo područje koje predstavlja, odnosno imala je bolju ocjenu od drugih točaka na istoj plaži. Ovakve prostorne varijacije također ukazuju na problem reprezentativnosti ocjena, jer precjenjuje kakvoću mora, odnosno podcjenjuje rizik za zdravlje kupaca. Posljedično, ne ostvaruje se temeljni cilj monitoringa, zaštita zdravlja kupaca.



Slika 2. Godišnje ocjene kakvoće mora za kupanje na područjima istraživanja (bijelo-izvrsna, iscrtano-dobra, sivo-zadovoljavajuća, crno-nezadovoljavajuća). Točke označene zatamnjenom su službene točke iz nacionalnog programa praćenja kakvoće mora za kupanje

ZAKLJUČAK

Vremenske varijacije koncentracija pokazatelja kakvoće mora za kupanje na plažama podložnim kratkotrajnim onečišćenjima su značajna. Onečišćenja se događaju u različito doba dana pa standardno uzorkovanje mora u jutarnjim satima često ne rezultira reprezentativnom godišnjom ocjenom kakvoće mora, koja je precijenjena, odnosno rizik za zdravlje kupaca je podcijenjen. Zbog značajnih prostornih varijacija koncentracija pokazatelja, *E. coli* i crijevnih enterokoka, službena kontrolna točka je često nerepresentativna, odnosno godišnja ocjena kakvoće mora je bolja nego na drugim, dodatnim kontrolnim

točkama. Rezultati istraživanja ukazuju na potrebu preispitivanja načina određivanja kontrolnih točaka na plažama podložnim kratkotrajnim onečišćenjima te doba dana za uzimanje uzoraka mora.

ZAHVALA

Ovaj je rad financirala Hrvatska zaklada za znanost projektom HRZZ IP-2020-02-1880 (EUROBATH).

LITERATURA

- [1] Davies-Colley, R.J., Bell, R.G., Donnison, A.M., (1994): *Sunlight inactivation of enterococci and fecal coliforms in sewage effluent diluted in seawater*, Applied and Environmental Microbiology, 60, 2049-2058.
- [2] Dodds, R., Holmes, M., (2018): *Education and certification for beach management: is there a difference between residents vs visitors?*, Ocean and Coastal Management, 160, 124-132.
- [3] European Union. 2006. Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC. Official Journal of the European Union, L 64, 37-51.
- [4] Fujioka, R.S., Hashimoto, H.H., Siwak, E.B., Reginald, H.F., (1981): *Effect of sunlight on survival of indicator bacteria in seawater*, Applied and Environmental Microbiology, 41, 690-696.
- [5] Jozić, S., Vukić Lušić, D., Ordulj, M., Frlan, E., Cenov, A., Diković, S., Kauzlarić, V., Fiorido Đurković, L., Stilinović Totić, J., Ivšinović, D. i drugi, (2018): *Performance characteristics of the temperature-modified ISO 9308-1 method for the enumeration of Escherichia coli in marine and inland bathing waters*, Marine Pollution Bulletin, 135, 150-158.
- [6] Jozić, S., Morović, M., Šolić, M., Krstulović, N., Ordulj, M., (2012): *Effect of solar radiation, temperature and salinity on the survival of two different strains of Escherichia coli*, Fresenius Environmental Bulletin, 23(8), 1852-1859.
- [7] Jozić, S., Puljak, T., Mamić, M., Vrdoljak Tomaš, A., Ordulj, M., Baumgartner, N., Ivanković, D., (2022): *Bathing water quality at bathing sites in Kaštela (Croatia) in the period of application of the Bathing Water Directive 2006/7/EC*. Acta Adriatica, 63(2), 151-164.
- [8] Preißler, S., (2009): *Evaluation of the quality of European coastal water by German tourists*, Coastal Change in the Southern Baltic Sea Region, Coastline Reports, 12, 177-186.
- [9] Sinton, L.W., Davies-Coley, R.J., Bell, R.G., (1994): *Inactivation of enterococci and fecal coliforms from sewage and meatworks effluents in seawater chambers*, Applied and Environmental Microbiology, 60, 2040-2048.

- [10] Slater, R., Mearns, K., (2018): *Perceptions and activity profiles of Blue Flag beach users in South Africa*, African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure, 7(4), 1-14.
- [11] Šolić, M., Krstulović, N., (1993): *Važnost poznavanja vremena preživljavanja indikatora fekalnog zagađenja za određivanje obilježja podmorskih ispusta*. Hrvatske Vode, 2:407-411.
- [12] Vukić Lušić, D., Kranjčević, L., Mardešić, S., Lušić, D., Jozić, S., Linšak, Ž., Bilajac, L., Bilajac, N., (2017): *Temporal variations analyses and predictive modeling of microbiological seawater quality*, Water Research, 119, 160-170.

AUTORI

dr. sc. Slaven Jozić ^a

dr. sc. Ana Vrdoljak Tomaš ^a

izv. prof. dr. sc. Darija Vukić Lušić ^{b,c}

dr. sc. Arijana Cenov ^b

dr. sc. Marin Glad ^b

dr. sc. Danijela Peroš-Pucar ^d

mag. oecol. Katarina Kurić ^d

dr. sc. Marin Ordulj ^e

dr. sc. Tatjana Puljak ^f

dipl. ing. Dolores Grilec ^g

prof. dr. sc. Mladen Šolić ^a

dr. sc. Damir Ivanković ^a

^a Institut za oceanografiju i ribarstvo, Šetalište I. Meštrovića 63, 21000 Split, Hrvatska, sjozic@izor.hr

^b Nastavni zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije, Krešimirova 52a, 51000 Rijeka, Hrvatska, darija.vukic-lusic@zzjzpgz.hr

^c Medicinski fakultet sveučilišta u Rijeci, Braće Branchetta 20, 51000 Rijeka, Hrvatska, darija.vukic-lusic@zzjzpgz.hr

^d Zavod za javno zdravstvo Zadar, Kolovare 2, 23000 Zadar, Hrvatska, dperos.pucar@zjz-zadar.hr

^e Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za studije mora, Rudera Boškovića 37, 21000 Split, Hrvatska, marin.ordulj@unist.hr

^f Nastavni zavod za javno zdravstvo Splitsko - dalmatinske županije, Vukovarska 46, 21000 Split, Hrvatska, tatjana.puljak@nzjz-split.hr

^g Zavod za javno zdravstvo Dubrovačko - neretvanske županije, Dr. Ante Šercera 4, 20000 Dubrovnik, Hrvatska, dolores.grilec@zzjzdnz.hr



R 1.39.

TREND KAKVOĆE MORA ZA KUPANJE U KAŠTELIMA ZA RAZDOBLJE 2009. - 2022.

**Marin Ordulj, Slaven Jozić, Tatjana Puljak, Mirna Mamić, Ana Vrdoljak
Tomaš, Nikolina Baumgartner, Damir Ivanković**

SAŽETAK: Kaštela su turistička destinacija s dugom poviješću, ali su suočena s nekontroliranom urbanizacijom i industrijalizacijom, što je rezultiralo značajnim onečišćenjem Kaštelanskog zaljeva u 1980-ima. Nakon djelomičnog puštanja u rad novog kanalizacijskog sustava Kaštela - Trogir 2014. godine, očekivalo se poboljšanje kvalitete morskog okoliša. Istraživana je kakvoća mora za kupanje na području Grada Kaštela, Hrvatska, u razdoblju od 2009. do 2022. godine. Ispitivanja su obavljena u skladu s EU standardima na 11 službenih plaža u Kaštelima za vrijeme sezone kupanja. Rezultati istraživanja pokazuju prostorne i vremenske varijacije kakvoće. Nezadovoljavajuća kakvoća mora zabilježena je na istočnom dijelu grada, na plažama Torac, Kamp i Gojača, koje su i dalje opterećene fekalnim materijalom. Unatoč statističkoj neznačajnosti, primjetan je trend smanjenja kratkotrajnih onečišćenja od 2017. godine, vjerojatno uslijed poboljšanja kanalizacijskog sustava. Kaštelanske plaže s nezadovoljavajućom ocjenom kakvoće činile su više od 27 % svih takvih plaža u Hrvatskoj. Očekuje se da će problem biti riješen završetkom projekta izgradnje sustava vodoopskrbe i odvodnje te pročišćavanja otpadnih voda. Ovo istraživanje sugerira da su uloženi napori poboljšali kakvoću mora u Kaštelima, ali da je potrebno daljnje djelovanje kako bi se problem potpuno riješio.

KLJUČNE RIJEČI: Kakvoća mora za kupanje, Kaštela, Hrvatska, Direktiva o kakvoći vode za kupanje

THE TREND IN BATHING WATER QUALITY IN KAŠTELA FOR THE PERIOD 2009 - 2022

ABSTRACT: Kaštela is a tourist destination with a long history, but the city has been facing uncontrolled urbanization and industrialization, which resulted in significant pollution of Kaštela Bay in the 1980s. After the partial implementation of a new sewage system for Kaštela - Trogir cities in 2014, an improvement in the quality of the marine environment was expected. The bathing water quality in the Kaštela city area, Croatia, was studied from 2009 to 2022. The research was conducted following EU standards at 11 official beaches in Kaštela during the bathing season. The research results show spatial and temporal variations in water quality. Unsatisfactory water quality was recorded in the

eastern part of the city, at the Torac, Kamp, and Gojača beaches, which are still affected by fecal contamination. Despite its statistical insignificance, there is a noticeable trend of decreasing short-term pollution events since 2017, probably due to improvements in the sewage system. Kaštela's beaches with unsatisfactory quality ratings accounted for more than 27 % of all such beaches in Croatia. The problem is expected to be addressed with the completion of the project for the construction of the water supply and sewage system and wastewater treatment. This research suggests that invested efforts have improved the seawater quality in Kaštela, although further action is needed to fully solve the problem.

KEYWORDS: Bathing water quality, Kaštela, Croatia, Bathing water directive

1. UVOD

Očuvanje morskog okoliša, posebno kakvoća mora za kupanje, ključno je za privlačenje turista u obalna područja, što ima veliku važnost za ekonomije tih regija. Direktiva o upravljanju kvalitetom vode za kupanje (Bathing Water Directive - BWD) EU (2006/7/EC) ima za cilj očuvanje okoliša i zaštitu ljudskog zdravlja putem ocjenjivanja kupališnih područja. Do 2021. godine, 1,5 % europskih plaža ocijenjeno je kao "nezadovoljavajuće", što je poboljšanje u usporedbi s 2 % u 2013. godini (EEA, 2022.), no cilj Direktive još nije potpuno ispunjen.

Službeno praćenje kakvoće mora za kupanje na hrvatskim plažama počelo je 1989. godine i razvijalo se kroz godine u pogledu broja praćenih lokacija, metoda ispitivanja, pokazatelja mikroorganizama i upravljanja kakvoćom mora. Hrvatska je Uredbom o kakvoći mora za kupanje (NN 73/2008) implementirala BWD 2008. godine, pet godina prije ulaska u EU te postavila strože kriterije. Iako je većina plaža zadržala "izvrsnu" kakvoću mora, udio "nezadovoljavajućih" plaža varira između 0,44 % i 1,1 %, odnosno od 4 do 12 kupališnih lokacija. Kaštelanski zaljev, osobito područje grada Kaštela, ima najveći broj "nezadovoljavajućih" lokacija, što iznosi 33 % svih takvih lokacija u Hrvatskoj u 2019. godini (Džal i sur., 2021.). Povećan broj nezadovoljavajućih lokacija sugerira potrebu za dodatnim naporima u identifikaciji i smanjenju onečišćenja vode ako se želi očuvati turistička privlačnost ovog dijela Jadrana.

Cilj ovog istraživanja je analizirati trendove kakvoće mora za kupanje u Gradu Kaštela u razdoblju primjene Uredbe (2009. - 2022.) i pokušati identificirati razloge lošije kakvoće mora za kupanje u usporedbi s drugim područjima u Hrvatskoj.

2. MATERIJALI I METODE

Grad Kaštela, smješten u Kaštelskom zaljevu. Bogat je plažama i ima dugu povijest turizma. Međutim, urbanizacija i industrijski razvoj, uključujući neprikladne sustave za odvod otpadnih voda, uzrokovali su onečišćenje zaljeva tijekom 1980-ih (Kušpilić i sur., 2015). U 2014. godini, djelomično je uspostavljen sustav za obradu otpadnih voda kako bi se uklonili izvori onečišćenja. Nadogradnjom postrojenja za obradu otpadnih voda očekuje se značajan utjecaj na kakvoću mora za kupanje. Do tada, postojeće lokalne odvodne kanale i potoci povremeno pridonose fekalnom onečišćenju.

Premda Kaštela imaju 20 plaža, praćenje kakvoće mora za kupanje se, s obzirom na njihovu međusobnu udaljenost, provodi na 11 službenih mjernih mjesta uz tendenciju

povećanja broja. U svakoj sezoni kupanja od kraja svibnja do kraja rujna uzima se 10 uzoraka po mjestu, u okviru nacionalnog praćenja. Tijekom 2021. i 2022. godine, projekt "Eurobath" identificirao je izvore onečišćenja i kvantificirao mikrobiološko onečišćenje na tri povijesno (temeljem istraživanja Džal i sur., 2021) najonečišćenija mjesta, Torac, Kamp i Gojača te dodatno na pet drugih lokacija, uključujući tri potoka (S1, S4 i S5) i dvije obalne lokacije nekontroliranog ispuštanja otpadnih voda (S2, S3) (Slika 1).



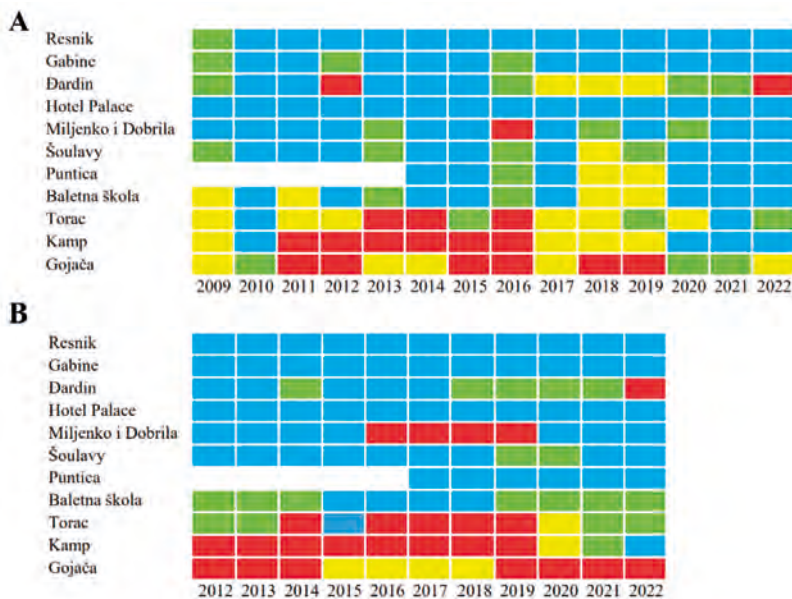
Slika 1. Karta područja istraživanja i mjesta uzorkovanja (R-Resnik, Ga-Gabine, D-Đardin, H-Hotel Palace, M-Miljenko i Dobrila, S-Šoulavry, P-Puntica, B-Baletna škola, T-Torac, K-Kamp, Go-Gojača)

Uzorci morske vode prikupljani su 30 centimetara ispod površine i prevoženi u laboratorij u prijenosnim hladnjacima. Uzorci su obrađivani isti dan, u roku od 4 sata od uzorkovanja. Bakterije indikatori fekalnog onečišćenja (FIB) određivane su metodom membranske filtracije. *E. coli* je određivana i brojana prema ISO 9308-1. Od 2009. do 2014., korištena je referentna metoda ISO 9308-1:2000, od 2014. do 2017. metoda ISO 9308-1:2014, dok se od 2018. godine koristi temperaturno modificirana metoda ISO 9308-1:2014 prema Jozić i sur. (2018). Za brojanje crijevnih enterokoka korištena je standardna metoda ISO 7899-2:2000. Neobrađeni podaci o kakvoći mora za kupanje u razdoblju od 2009. do 2022. godine preuzeti su iz baze službenog nacionalnog praćenja koja nije javno dostupna (<https://vrtlac.izor.hr/ords/kakvoaca/kakvoaca>). Podaci o kakvoći mora za kupanje obrađivani su prema smjernicama BWD i nacionalnim propisima. Kakvoća mora za kupanje procijenjena je nakon svakog uzimanja uzorka koristeći nacionalne kriterije. Kategorije kakvoće mora za kupanje za godišnje i konačno vrednovanje određene su korištenjem 90. i 95. percentila sirovih podataka FIB-a koristeći nacionalne kriterije.

3 REZULTATI I RASPRAVA

3.1 Kakvoća mora za kupanje na kaštelanskom području

Godišnja i konačna ocjena kakvoće mora za kupanje na 11 kupališnih lokacija u Kaštelima u razdoblju od 2009. do 2022. godine prikazana je na Slici 2. S obzirom da konačna ocjena uključuje rezultate sezone kupanja i tri prethodne sezone kupanja, dostupna je od 2012. godine. Izuzetak je plaža Puntica, koju se prati od 2014. godine.

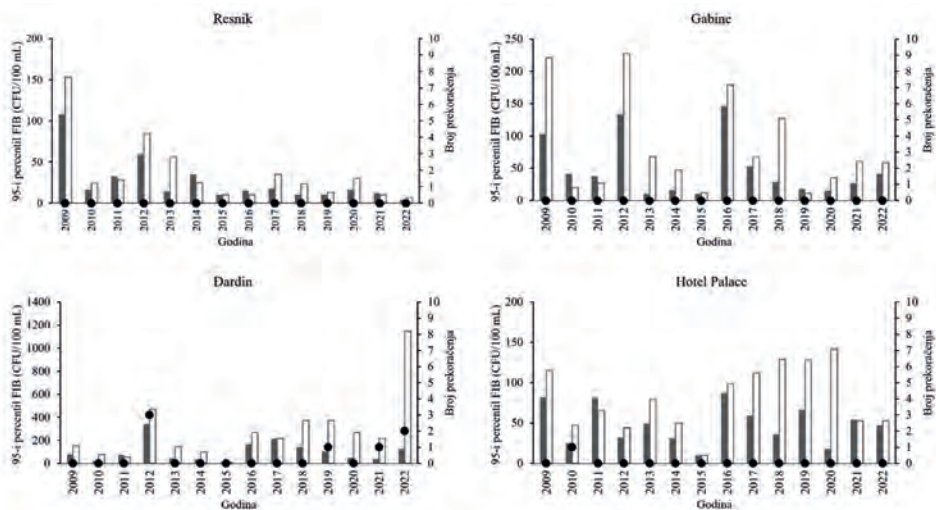


Slika 2. Godišnja (A) i konačna (B) procjena kakvoće mora za kupanje na 11 plaža u Kaštelima u razdoblju od 2009. do 2022. godine (plavo – „izvršno“, zeleno – „dobro“, žuto – „zadovoljavajuće“, crveno – „nezadovoljavajuće“, bijelo - nema podataka)

Kakvoća mora za kupanje na 11 praćenih lokacija u Kaštelima varira od „izvršne“ do „nezadovoljavajuće“ u godišnjim i konačnim ocjenama. Zapadni dio područja obično ima bolju kakvoću mora od istočnog dijela, iako su pojedina kupališta na zapadu (Đardin i Miljenko i Dobrila) povremeno ocjenjena „nezadovoljavajuće“ ili „zadovoljavajuće“. Na istočnom dijelu, tri lokacije, Torac, Kamp i Gojača, uglavnom su ocijenjene kao „zadovoljavajuće“ ili „nezadovoljavajuće“. Broj nezadovoljavajuće ocijenjenih lokacija smanjuje se od 2017. godine u godišnjoj ocjeni, te od 2020. godine u konačnoj ocjeni. Odgoda u poboljšanjima u konačnoj ocjeni u usporedbi s godišnjom ocjenom posljedica je činjenice da se uzimaju u obzir rezultati tekuće sezone i tri prethodne sezone, pa su potrebne tri godine kako bi promjene bile vidljive.

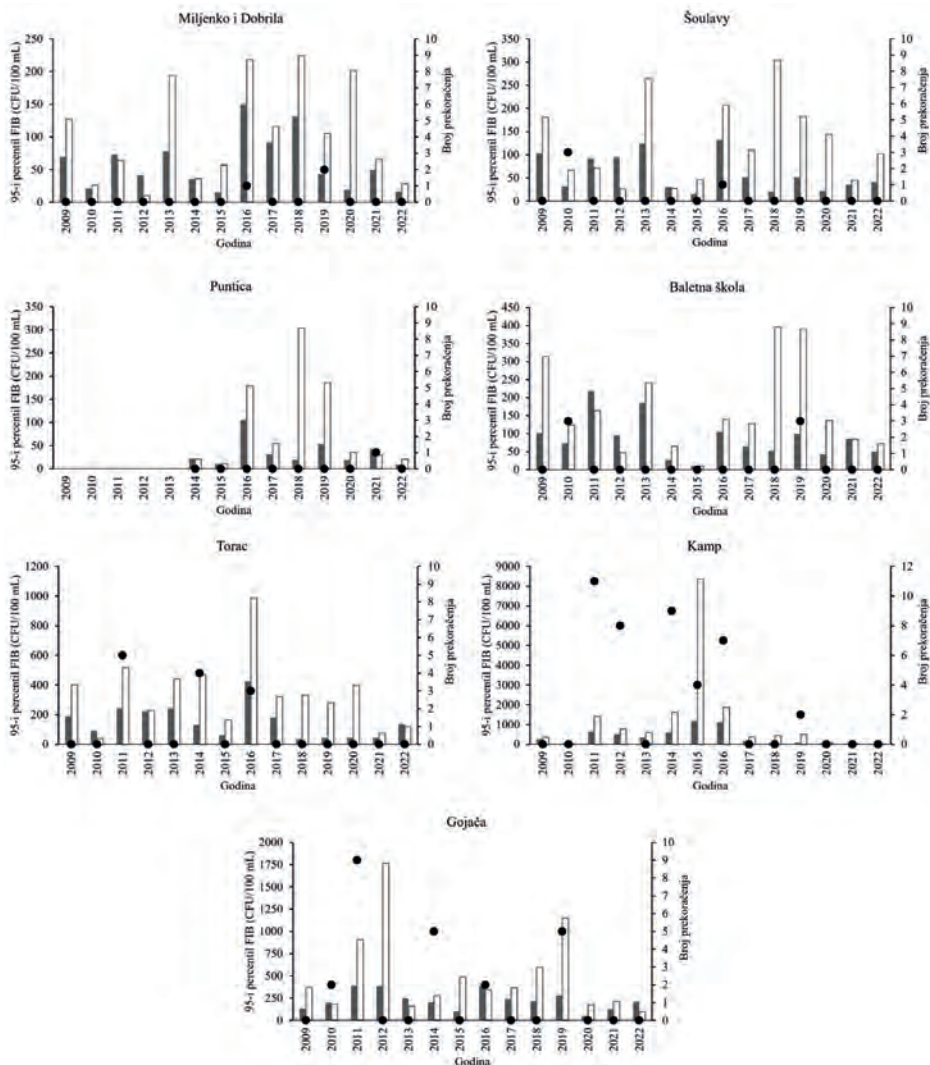
Kategorije kakvoće mora su korisne za informiranje o stanju mora za kupanje i zdravstvenim rizicima, ali važno je uzeti u obzir sve dostupne podatke, uključujući pojedinačne ocjene, godišnje ocjene, prekoračenja tijekom sezone i specifičnosti plaže, kako bi se dobla cjelovita slika o stanju mora na određenom mjestu. 95. percentili *E. coli* i crijevnih enterokoka zajedno s brojem prekoračenja za svaku sezonu kupanja tijekom 2009. - 2022.

godine prikazani su na slici 3. Rezultati pokazuju da su vrijednosti 95. percentila oba pokazatelja fluktuirale tijekom istraživanih razdoblja, bez jasnog trenda, čak i na lokacijama s relativno stabilnom kakvoćom mora za kupanje. Iako percentili nisu uvijek najreprezentativniji pokazatelj stvarne kakvoće mora za kupanje, usporedba njihovih vrijednosti za istu kategoriju kvalitete vode (npr. „nezadovoljavajuća“) pokazuje da mogu pružiti bolje informacije o razini onečišćenja i riziku za zdravlje na lokaciji od same kategorije kakvoće mora za kupanje. Da bi se kakvoća mora klasificirala kao „nezadovoljavajuća“, percentili moraju premašiti gornju granicu za FIB te kategorije kvalitete, bez obzira na njihovu apsolutnu vrijednost. Međutim, u smislu zdravlja kupaca, kupanje i rekreacija u vodama iste kategorije može predstavljati vrlo različite rizike. Na primjer, kakvoća mora na plaži Đardin bila je „nezadovoljavajuća“ u 2012. i 2022. godini, ali vrijednost 95. percentila za *E. coli* u sezoni kupanja 2022. bila je značajno viša i ukazuje na znatno veći rizik za zdravlje. Slično tome, more na plaži Kamp bilo je „nezadovoljavajuće“ 2015. godine, a na Gojači 2012. i 2019. godine.



Slika 3. (prvi dio) 95. percentil *E. coli* (bijeli stupci) i crijevnih enterokoka (sivi stupci) te broj prekoračenja (crne točke) u moru za kupanje na plažama u Kaštelima u razdoblju od 2009. do 2022. godine

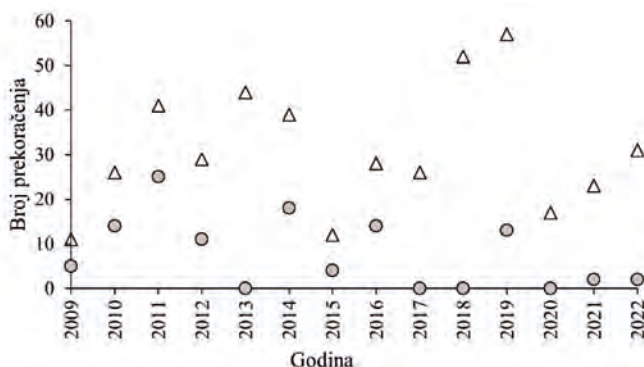
Većina prekoračenja FIB-a pronađena je na lokacijama s lošijom godišnjom i konačnom ocjenom kakvoće mora, iako lošija kategorija kakvoće (godišnja) nije uvijek rezultat prekoračenja. Na primjer, Đardin je ocijenjen ocjenom zadovoljavajuće u godišnjem izvješću za 2017. i 2018., iako nije zabilježeno nijedno prekoračenje. Isto vrijedi i za Baletnu školu u 2018. godini, kao i za neka druga mjesta i godine. Osim toga, Gojača je ocijenjena s nezadovoljavajuće u godišnjem izvješću za 2012., 2015. i 2018., bez zabilježenih prekoračenja. To je rezultat nekoliko podataka ocijenjenih zadovoljavajuće u tim sezonama, što može rezultirati nezadovoljavajućom godišnjom ocjenom ili konačnom ocjenom kakvoće mora, ovisno o ostalim podacima u skupu podataka (Slika 3. drugi dio).



Slika 3. (drugi dio) 95. percentil *E. coli* (bijeli stupci) i crijevnih enterokoka (sivi stupci) te broj prekoračenja (crne točke) u moru za kupanje na plažama u Kaštelima u razdoblju od 2009. do 2022. godine

Analiza rezultata pokazuje da većina prekoračenja i zadovoljavajućih ocjena proizlazi iz strožih kriterija za *E. coli* u hrvatskoj regulativi u usporedbi s BWD-om. Primjena kriterija BWD-a kriterija bi u mnogim slučajevima rezultirala boljom kakvoćom mora. Postoje i slučajevi gdje su prekoračenja zabilježena, ali kakvoća mora nije ocijenjena kao „nezadovoljavajuća” (Đardin 2021., Hotel Palace 2010., Miljenko i Dobrila 2019., Šoulavy 2010., 2016., Baletna škola 2010., 2019., Torac 2011., Kamp 2019. i Gojača 2010., 2014.) zbog više podataka koncentracije FIB-a s umjerenim vrijednostima i mogućnosti zanemarivanja do 15 % prekoračenja u slučaju kratkotrajnog onečišćenja.

Tijekom istraživanja, broj prekoračenja na kupalištima u Kaštelima varirao je od 0 do 25, s opadajućim, ali statistički ne značajnim trendom od 2017. godine ($r^2 = 0,1205$, $p = 0,224$) (Slika 4), što se poklapa s manjim brojem lokacija s lošim godišnjim ocjenama. Većina prekoračenja, u prosjeku 41 % ukupnog, su koncentrirana na tri lokacije u istočnom dijelu grada Kaštela (Torac, Kamp i Gojača), što je i prije potvrđeno (Džal i sur., 2021). To sugerira značajno fekalno onečišćenje s obzirom na značajno premašivanje donje granice za „nezadovoljavajuću” kategoriju prema visokim vrijednostima 95 percentila (Slika 3).



Slika 4. Godišnji broj prekoračenja na 11 kupališta u Kaštelima (krugovi) i na svim lokacijama u Hrvatskoj (trokuti)

Analiza identificiranih izvora onečišćenja (S1 - S5) na tim područjima pokazala je relativno visoke razine indikatorskih bakterija, posebno na mjestima S2 i S5 (Tablica 3). Ti izvori mogu utjecati na kakvoću mora pri povoljnim meteorološkim uvjetima, posebno kada vjetar puše prema kupalištu. Fekalni otpad u potocima (S1, S4 i S5) dolazi curenjem septičkih jama iz obližnjih stambenih objekata, što bi moglo povećati onečišćenje obalnih voda tijekom i nakon kišnih razdoblja. Međutim, to nije potvrđeno, zato što kiša nije imala značajan učinak na onečišćenje ili zato što tijekom ljeta kad su provedena istraživanja nije bilo obilnih oborina koje bi utjecale na kakvoću mora za kupanje (Ordulj i sur., 2022).

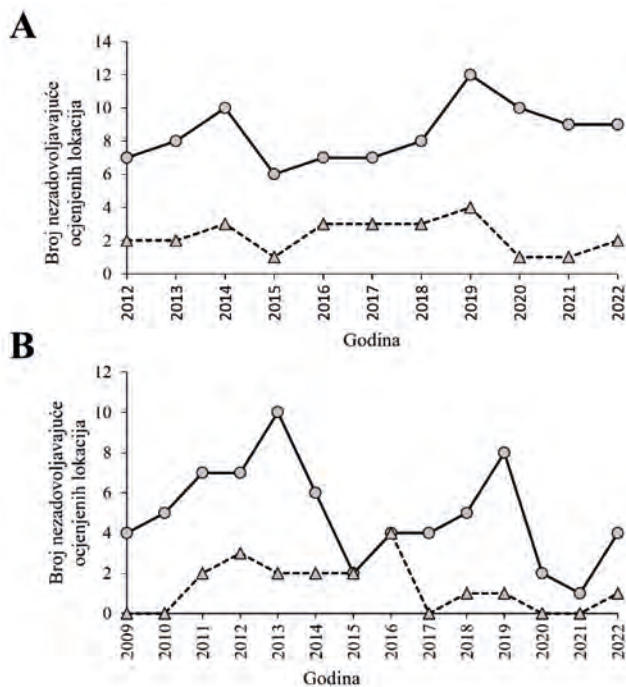
Tablica 3. Deskriptivna statistika koncentracije FIB-a (IE - crijevni enterokoki, EC - E. coli) (FIB/100 mL) na identificiranim izvorima onečišćenja u 2021. i 2022. godini.

2021.	S1		S2		S3		S4		S5	
	IE	EC	IE	EC	IE	EC	IE	EC	IE	EC
Srednjak	542,0	564,0	3561,0	2929,4	536,1	1261,4	1310,0	1950,0	3508,1	7529,6
Min.	110,0	100,0	124,0	14,0	18,0	0,0	460,0	80,0	7	0
Maks.	1450,0	1320,0	38500,0	22000,0	2300,0	2100,0	4400,0	3400,0	11900	27000
SD	533,7	483,8	7080,7	4954,0	514,8	3860,0	1729,0	1215,6	34453,1	8090,2
N	5	5	32	32	31	31	5	5	31	31
2022.	S1		S2		S3		S4		S5	
	IE	EC	IE	EC	IE	EC	IE	EC	IE	EC
Srednjak	436,7	935,0	312,8	412,8	262,6	1019,4	1356,7	951,7	5425,7	11300,5
Min.	150,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	310,0	250,0	2	0
Maks.	750,0	2420,0	2900,0	5600,0	3600,0	16800,0	3600,0	1440,0	26000	82000
SD	148,5	233,3	632,9	1052,7	676,7	3161,4	2382,9	1216,2	7330,2	18422,3
n	6	6	32	32	29	29	6	6	30	30

Usporedbom rezultata sezona kupanja 2021. i 2022. godine, zabilježen je značajan pad razine fekalnih indikatorskih bakterija na mjestu S2. To je vjerojatno rezultat izgradnje kolektora za otpadne vode, koji je stavljen u pogon prije sezone kupanja 2022. godine. S obzirom na prevladavajući smijer ljetnih vjetrova na ovom području, koji pušu sa sjeverozapada i zapada tijekom dana i sa sjeveroistoka noću, smanjenje tog izvora onečišćenja vjerojatno će imati pozitivan učinak na kakvoću mora na plažama Torac i Kamp. Fekalni materijal ispušten u neposrednoj blizini plaže Gojača, putem potoka (S5) koji prenosi velike količine mikrobiološkog onečišćenja, i dalje će utjecati na kakvoću mora na plaži Gojača sve dok se ispuštanje kućanskih otpadnih voda u potok ne smanji. S obzirom na porast razine FIB-a na ovom izvoru onečišćenja u 2022. godini u usporedbi s 2021. (Tablica 3) i s obzirom na veličinu i prirodu područja kroz koje potok teče, rješenje tog problema će biti izazovan zadatak.

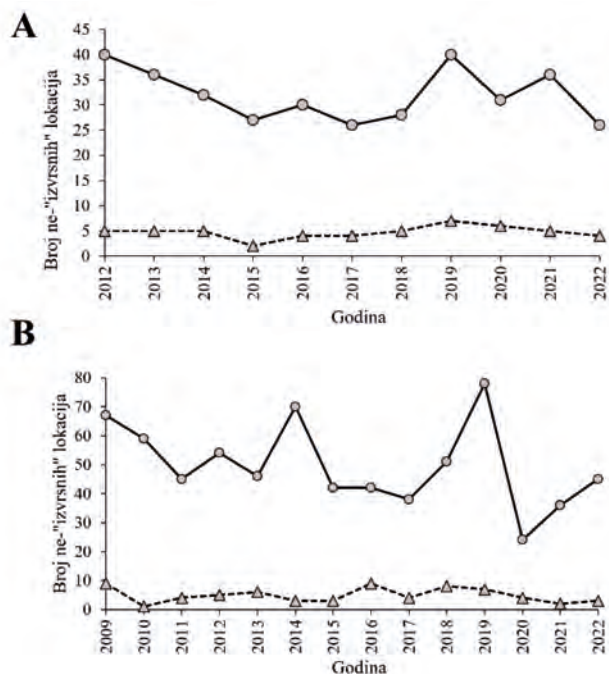
3.2 Utjecaj kakvoće mora u Kaštelima na ocjenu kakvoće mora u Hrvatskoj

U konačnoj ocjeni svih kupališnih lokacija, trend broja „nezadovoljavajućih” lokacija u Hrvatskoj i Kaštelima tijekom istraživanog razdoblja bio je sličan. Broj „nezadovoljavajućih” lokacija u Hrvatskoj iznosio je između 6 i 12 godišnje i blago se smanjivao od 2020. godine. Broj „nezadovoljavajućih” lokacija u Kaštelima varirao je između 1 i 4, što je predstavljalo do 43 % (u prosjeku 27,3 %) svih „nezadovoljavajućih” lokacija u Hrvatskoj (Slika 5A). Analizirajući godišnju ocjenu, broj „nezadovoljavajućih” lokacija u Hrvatskoj varirao je između 1 i 10 tijekom istraživanog razdoblja i smanjivao se od 2020. godine. Prosječni udio „nezadovoljavajućih” lokacija u Kaštelima u ukupnom broju „nezadovoljavajućih” lokacija u Hrvatskoj bio je isti kao u konačnoj ocjeni (27,3 %). Godine 2015. i 2016., sve nezadovoljavajuće ocijenjene hrvatske obalne kupališne lokacije bile su u Kaštelima (Slika 5B).



Slika 5. Broj „nezadovoljavajućih” lokacija u Kaštelima (trokuti) i Hrvatskoj (krugovi) u razdoblju od 2012. do 2022. godine (konačna procjena) (A) i broj „nezadovoljavajućih” lokacija u Kaštelima (trokuti) i Hrvatskoj (krugovi) u razdoblju od 2009. do 2022. godine (godišnja procjena) (B)

Prosječni udio ne-„izvršnih” lokacija u Kaštelima u ukupnom broju tih lokacija u Hrvatskoj značajno je niži od udjela „nezadovoljavajućih” lokacija, kako u konačnoj (14,7 %) tako i u godišnjoj (10,2 %) ocjeni (Slika 6).



Slika 6. Broj ne-”izvrsnih” lokacija nakon konačne ocjene za razdoblje od 2009. do 2022. godine (A) i godišnje ocjene za razdoblje od 2012. do 2022. godine (B) u Kaštelima (trokuti) i Hrvatskoj (krugovi)

Udio takvih lokacija u Hrvatskoj varira, ali ostaje stabilan u Kaštelima tijekom istraživanja. Ne-”izvrsne” lokacije u Kaštelima, posebno „nezadovoljavajuće”, značajno utječu na ukupan broj takvih lokacija u Hrvatskoj, iako čine samo oko 1 % svih kupališta na hrvatskoj obali Jadrana. Godišnji udio prekoračenja u Kaštelima u ukupnom broju prekoračenja u Hrvatskoj iznosi od 0 do 61 %, s prosječnim udjelom od 21,5 % (Slika 5). Primjena BWD kriterija bi značajno poboljšala ocjene kakvoće mora u Kaštelima, smanjujući broj „nezadovoljavajućih” lokacija za 33 % u godišnjoj i čak 68 % u konačnoj ocjeni. Unatoč poboljšanjima, kakvoća mora u Kaštelima i dalje zaostaje u Hrvatskoj, sugerirajući potrebu za daljnjim naporima u uklanjanju onečišćenja i boljim upravljanjem obalom, što je ključno s obzirom na važnost kakvoće mora na razvoj turističke destinacije.

ZAKLJUČAK

Kakvoća mora za kupanje na 11 službenih kupališnih lokacija u Kaštelima varirala je od “izvrsne” do “nezadovoljavajuće” tijekom razdoblja od 2009. do 2022. godine, ovisno o lokaciji i sezoni kupanja. Broj lokacija s lošom kakvoćom mora smanjuje se od 2017. godine u godišnjoj i od 2020. godine u konačnoj ocjeni, što ukazuje na početak trenda poboljšanja kakvoće mora na tom području. Općenito, kakvoća kupališnih voda na zapadnom dijelu Kaštela bila je bolja od kupališta na istočnom dijelu, što ukazuje na veću izloženost kupaca onečišćenju vodi iz potoka ili nekontroliranom ispuštanju otpadnih

voda. Iako se broj prekoračenja vrijednosti FIB-a smanjivao tijekom godina, premda statistički neznajno, ipak ukazuje na polagano poboljšanje kakvoće mora za kupanje. Kakvoća mora za kupanje na području Kaštela ima značajan utjecaj na kakvoću mora za kupanje u Hrvatskoj. Za neke identificirane izvore onečišćenja, zabilježeni su značajni padovi razine FIB-a u 2022. godini, što pokazuje da dovršenje kanalizacijskog sustava na nekim područjima ipak donosi pozitivne rezultate za okoliš. Unatoč primijećenim poboljšanjima u kakvoći mora za kupanje, udio „nezadovoljavajućih“ i ne-„izvrsnih“ lokacija u Kaštelima u ukupnom broju takvih lokacija u Hrvatskoj još uvijek je visok. To ukazuje na potrebu ulaganja dodatnih napora kako bi se eliminirali izvori onečišćenja na tom području i potpuno dovršavanje sustava za obradu otpadnih voda.

Rad je financiran projektom Hrvatske zaklade za znanost „Ususret novoj direktivi Europske unije o upravljanju kvalitetom vode za kupanje“ (HRZZ-IP-2020-02-1880, EURO-BATH).

LITERATURA

- [1] Džal, D, Kosović, IN, Mastelić, T, Ivanković, D, Puljak, T, Jozić, S. (2021): *Modeling bathing water quality using official monitoring data*, Water, 13(21):3005.
- [2] European environment agency (EEA), (2022): *European Bathing Water Quality in 2021*, Available online at: <https://www.eea.europa.eu/publications/bathing-water-quality-in-2021>, (pristupljeno: 24.08.2023.).
- [3] European Union, (2006): *Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC*, Official Journal of the European Union, L 64, 37-51. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0007>.
- [4] ISO 7899-2, (2000): *Water quality- Detection and enumeration of intestinal enterococci – Part 2: Membrane filtration method*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. <https://www.iso.org/standard/14854.html>
- [5] ISO 9308-1, (2000): *Water quality – Detection and enumeration of Escherichia coli and coliform bacteria – Part 1: Membrane filtration method*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. <https://www.iso.org/standard/26404.html>.
- [6] ISO 9308-1, (2014): *Water quality – Enumeration of Escherichia coli and coliform bacteria – Part 1: Membrane filtration method for waters with low bacterial background flora* (ISO 9308-1:2014; EN ISO 9308-1:2014), International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. <https://www.iso.org/standard/55832.html>.
- [7] Jozić S, Lušić DV, Ordulj M, Frlan E, Cenov A, Diković S, Kauzlaric V, Đurković LF, Totić JS, Ivšinić D, Eleršek N, (2018): *Performance characteristics of the temperature-modified ISO 9308-1 method for the enumeration of Escherichia coli in marine and inland bathing waters*, Marine pollution bulletin. 2018 Oct 1;135:150-8.

- [8] Kušpilić G, Lušić J, Milun V, Mandić J, Ninčević Gladan Z, Krstulović N, Šolić M, Marijanović Rajčić M, Surmanović D, Gonzalez-Fernandez D, (2015): *Temporal changes in chemical and biological properties of Kaštela Bay*, 6. Hrvatska konferencija o vodama, Hrvatske vode na investicijskom valu, Opatija, Hrvatska, 20-23 May, Hrvatske vode, Zagreb, Hrvatska, 515-524.
- [9] Ordulj M, Jozić S, Baranović M, Krželj M, (2022): *The effect of precipitation on the microbiological quality of bathing water in areas under anthropogenic impact*, Water. 2022 Feb 10;14(4):527.
- [10] The government of the republic of Croatia, (2008): *Regulation on sea bathing water quality*, Official Gazette 73/2008, Document number: 2426. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_06_73_2426.html (pristupljeno: 24.08.2023.).

AUTORI

doc. dr. sc. Marin Ordulj ^a

dr. sc. Slaven Jozić ^b

dr. sc. Tatjana Puljak ^c

dr. sc. Mirna Mamić ^c

dr. sc. Ana Vrdoljak Tomaš ^b

Nikolina Baumgartner ^a

dr. sc. Damir Ivanković ^b

^a Sveučilište u Splitu, Odjel za studije mora, Ruđera Boškovića 37, Split, 21000, Hrvatska, mordulj@unist.hr, nikolinabaumgartner@gmail.com

^b Institut za oceanografiju i ribarstvo, Šetalište Ivana Meštrovića 63, Split, 21000 Hrvatska, sjovic@izor.hr, ivankovic@izor.hr, ana.vrdoljak@izor.hr

^c Nastavni zavod za javno zdravstvo Splitsko - dalmatinske županije, Vukovarska 46, Split, 21000, Hrvatska, tatjana.puljak@nzjz-split.hr, mirna.mamic@nzjz-split.hr



R 1.40.

OTOPLJENI ORGANSKI UGLJIK (DOC) U OBALNIM I PRIJELAZNIM VODAMA ISTOČNOG JADRANA

**Jelena Dautović, Niki Simonović, Iva Dominović,
Zdeslav Zovko, Irena Ciglenečki**

SAŽETAK: U ovom radu prikazat će se višegodišnji (2016. - 2022.) rezultati prostorne i vremenske distribucije otopljenog organskog ugljika (DOC) u vodenom stupcu prijelaznih i priobalnih voda istočnog Jadrana odnosno ukupni organski ugljik (TOC) u površinskim sedimentima istih vodnih tijela.

Sukladno graničnim koncentracijama DOC za oligo - ($< 1,44$ mg/L), mezo - (1,44 - 2,50 mg/L) i eutrofno ($> 2,50$ mg/L) stanje sva vodna tijela duž istočne jadranske obale mogu se opisati kao oligotrofna. Riječki zaljev uključujući luku Rijeka, dijelovi Kvarnera (Bakarski zaljev), luka Pula, Limski, Bračko - splitski kanal, Kaštelanski zaljev i Zadarsko - pašmanski kanal te rijeke Rječina, Mirna, Raša i Krka epizodno spadaju u mezotrofno/eutrofna područja uglavnom tijekom ljetnih i jesenskih mjeseci u površinskom i pri-dnenom sloju.

Povišen TOC u sedimentu ($> 1,5$ %) potvrđen je na lokacijama gdje su prethodno određene i povišene vrijednosti DOC u vodenom stupcu (Bračko - splitski, Zadarsko - pašmanski i Limski kanal te rijeka Jadro), dok je najviši sadržaj TOC (6,3 %) određen u Bakarskom zaljevu i u luci Pula, ukazujući na eutrofne uvjete vodenog stupca.

KLJUČNE RIJEČI: DOC; TOC u sedimentu, Istočni Jadran, Monitoring prijelazne i priobalne vode.

DISSOLVED ORGANIC CARBON (DOC) IN COASTAL AND TRANSITIONAL WATERS OF EASTERN ADRIATIC

ABSTRACT: This paper will present the results from the 2016 - 2022 period of the spatial and temporal DOC distribution in the water column of transitional and coastal waters of the eastern Adriatic, as well as the TOC concentrations in surface sediments of the same water bodies.

According to the limit concentrations DOC for oligo - (< 1.44 mg/L), meso - (1.44 - 2.50 mg/L) and eutrophic ($> 2,50$ mg/L) states, the status of all water bodies in the coastal waters of the eastern Adriatic can be described as oligotrophic. The Rijeka Bay, including the Port of Rijeka, parts of the Kvarner Bay (Bakar Bay), Port of Pula, Lim Channel, Brač - Split Channel, Kaštela Bay and Pašman - Zadar Channel, as well as the Rječina, Mirna,

Raša and Krka Rivers, are periodically mesotrophic-eutrophic, mostly during summer and autumn months, in their surface and bottom layers.

Increased TOC content in the sediment (above 1.5 %) is confirmed on the locations where increased DOC values in the water column have been determined (Brač - Split Channel, Zadar - Pašman and Lim Channels, and the Jadro River), while the highest TOC content (6.3 %) was determined in the Bakar Bay and the Port of Pula, which indicated eutrophic water column conditions.

KEYWORDS: DOC, TOC in sediment, Eastern Adriatic Sea, Monitoring of transitional and coastal waters

1. UVOD

Otopljeni organski ugljik (DOC) čini oko 90 % ukupne organske tvari u moru te predstavlja jedan od najvećih bioaktivnih rezervoara ugljika (C) na Zemlji (~ 700 Pg C), koji je približno jednak količini C u atmosferi u obliku CO₂ (Hansell i Carlson, 2002).

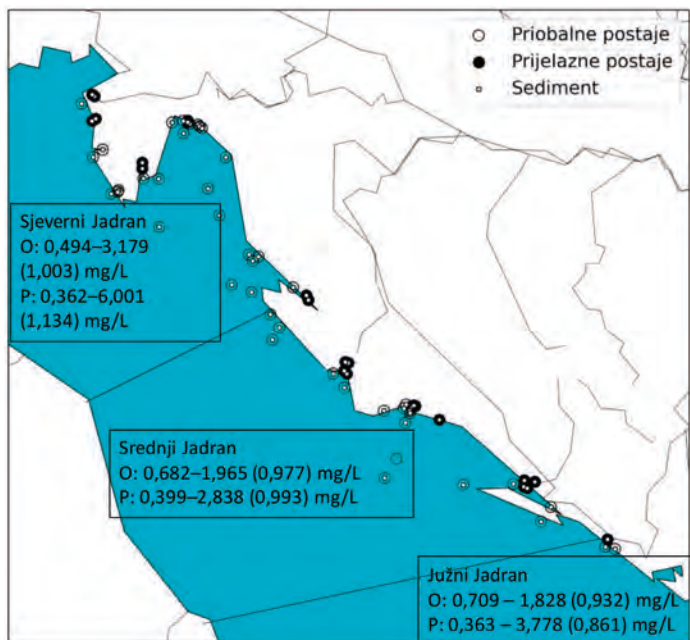
DOC predstavlja dinamičnu sastavnicu globalnog ciklusa C te se pokazao kao dobar pokazatelj globalnih promjena u moru (Dautović i drugi, 2017; Ciglencečki i drugi, 2020).

Organska tvar (OT) u moru potiče iz različitih izvora, uključujući biljne i životinjske izlučevine, bakterijsku razgradnju, autolizu mrtvih organizama, donos rijekama, otpadnim vodama te iz atmosfere, pri čemu nastaje složena smjesa spojeva (polisaharidi, proteini, humusne tvari) koji su važan dio biogeokemijskih procesa u moru.

Eutrofikacija se definira kao proces povećanja unosa OT u neki ekosustav (Nixon, 1995). Najčešće nastaje kao posljedica povećanog unosa anorganskih hranjivih tvari te intenzivne primarne produkcije koja direktno dovodi do smanjenja prozirnosti vodenog stupca kao i indirektno do smanjenih koncentracije kisika. U eutrofnim uvjetima mijenja se omjer otopljeno-partikularno, a u površinskom eufotičkom sloju uglavnom dominira svježije proizvedena OT nastala primarnom produkcijom.

Na temelju tridesetogodišnjih istraživanja organskog C u području sjevernog Jadrana (SJ) (Dautović i drugi, 2017; Ciglencečki i drugi, 2020) definirane su granične koncentracije za oligotrofne (< 1,44 mg/L), mezotrofne (1,44 – 2,50 mg/L) i eutrofne (> 2,5 mg/L) uvjete s obzirom na sadržaj DOC u smislu trofičkog indeksa (Trix) koji proizlazi iz talijanskog Zakona o vodama (D. LGS. 152/99) i Uredbe o standardu kakvoće voda RH (Narodne novine, br. 96/19).

U ovom radu prikazat će se rezultati prikupljeni u okviru (ekološkog) monitoringa sadržaja DOC kao pokazatelja eutrofikacije u priobalnim i prijelaznim vodama istočnog Jadrana u razdoblju od 2016. do 2022. godine. U analizu je uključeno ukupno 73 postaja (Slika 1), od toga 28 prijelaznih i 45 priobalnih postaja od Savudrije na sjeveru do Cavtata na jugu. Rezultati DOC diskutirat će se u ovisnosti o osnovnim fizikalno - kemijskim parametrima (temperatura, salinitet i zasićenje kisikom) s obzirom da se zadnjih godina uočavaju promjene istih u Jadranu uslijed klimatskih i antropogenih pritisaka.



Slika 1. Postaje istočnog Jadrana u sklopu monitoringa priobalnih (obalnih, O) i prijelaznih voda (P) s rasponima i srednjim vrijednostima DOC po regijama

2. METODE

Uzorci morske vode prikupljeni su Nansenovim polikarbonatnim uzorkivačima u površinskom i pridnom sloju različitim frekvencijama kroz godine (4 - 6 puta godišnje), ovisno o postaji. Sediment je uzorkovan jednom godišnje.

Mjerenja koncentracije DOC u uzorcima priobalnih i prijelaznih voda vršena su metodom visokotemperaturne katalitičke oksidacije, H₂CO (Dafner i Wangersky, 2002) na TOC-V_{CPH} analizatoru (Shimadzu, Japan) kao što je opisano u radu Dautović i sur, 2017. TOC u sedimentu analiziran je istom metodom u modulu za krute uzorke SSM-5000A (Shimadzu, Japan) u struji ekstra čistog kisika pri temperaturi od 900 °C uz smjesu katalizatora Pt/Si i CoO. Metode su akreditirane prema normi HRN EN ISO/IEC 17025:2017 (potvrda o akreditaciji broj 1577).

Pearsonov koeficijent korelacije (R) između dvije varijable (DOC, salinitet, temperatura, koncentracija kisika i klorofila Chl-*a*), utvrđen je metodom linearne regresije koristeći Microsoft Excel (2013) (Data Analysis ToolPack) dok se značajnost povezanosti testirala pomoću *p*-vrijednosti. Korelacija se smatra statistički značajnom ako je *p*<0,05 (Laws i Archie, 1981) te su samo takve vrijednosti navedene i diskutirane.

3. REZULTATI I RASPRAVA

U istraživanom razdoblju (2016. - 2022.) DOC koncentracije u vodenom stupcu istočnog Jadrana bile su u rasponu od 0,494 - 3,179 mg/L, s prosječnom vrijednosti 0,990 mg/L za

priobalne vode. Za prijelazne vode koncentracije su bile 0,362 – 3,778 mg/L, s najviše izmjerenom (6,001 mg/L, ekstrem) i prosječnom koncentracijom DOC od 1,018 mg/L.

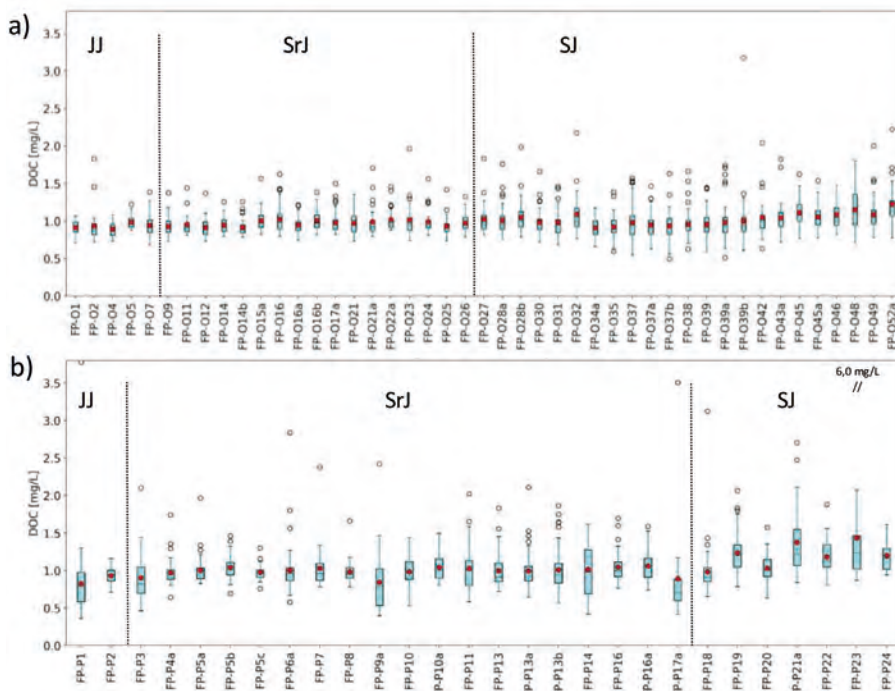
Radi se uglavnom o oligotrofnim vodama (95,5 % DOC koncentracija < 1,44 mg/L), no neka su područja povremeno obogaćena organskom tvari (Slika 2).

Povremeno povišene koncentracije DOC te ekstremi (*outliers*) u vodenom stupcu opaženi su u priobalnim vodama Riječkog zaljeva (O39, O39a, O39b) uključujući luku Rijeka (O38), u dijelovima Kvarnera (Bakarski zaljev O37, O37a, O37b), luci Pula (O45, O45a), Limskom kanalu (O49) te u Bračko - splitskom kanalu (O14, O14b, O15a), Kaštelanskom zaljevu (O16a) i Zadarsko - pašmanskom kanalu (O22a, O24) a od prijelaznih voda u rijekama Rječina (P17a, P18), Mirna (P21a, P22), Raša (P19, P20) te Krka (P11, P13, P13a, P13b) (Slika 2a, b). Više vrijednosti DOC očekivano su mjerene u površinskom sloju gdje je opažena i najveća varijabilnost, s opadajućim trendom po područjima od sjevera prema jugu, dok su sezonski gledano koncentracije DOC najviše u ljetu i opadaju slijedom proljeće > jesen > zima. Outliers/ekstremi opaženi su međutim i u pridnom sloju gore navedenih postaja SJ (Slika 3).

Izračunate korelacije DOC s osnovnim fizikalno - kemijskim parametrima ukazuju kako temperatura ima značajniji utjecaj na DOC nego salinitet u cijelom razdoblju, za sva istraživana područja. U istraživanom razdoblju temperatura se kretala u rasponu od 4,82 - 27,83 °C, a salinitet u rasponu od 7,37 - 39,07, s najnižim vrijednostima zabilježenim u prijelaznim vodama.

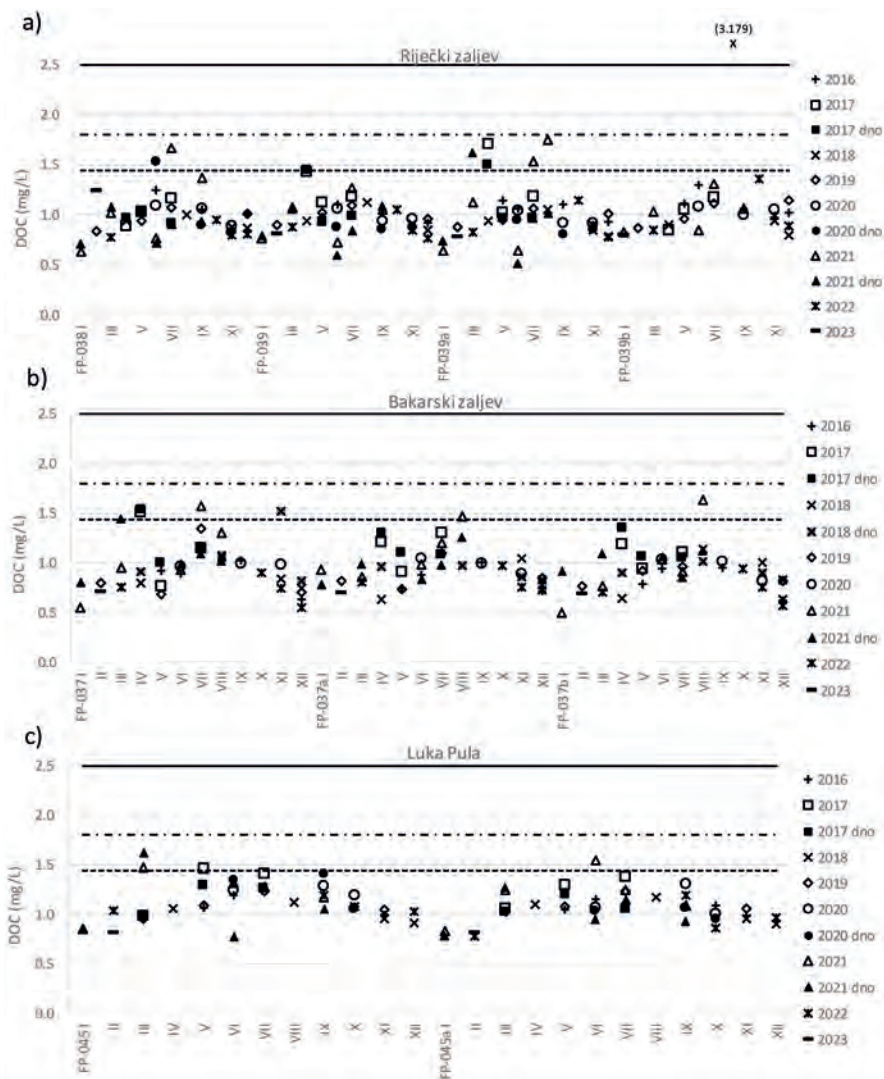
S obzirom da se radi o velikom broju postaja koje se međusobno poprilično razlikuju (utjecaj slatke vode, različita dostupnost hranjivih tvari, cvatovi različitih fitoplanktonskih zajednica, pojava hipoksičnih uvjeta, itd.), Riječki zaljev uključujući luku Rijeka, Bakarski zaljev te luka Pula odabrani su kao područja od posebnog interesa. Uz visoke koncentracije i izraženu varijabilnost DOC kao glavni kriterij odabira tih područja poslužili su nam salinitet i temperatura te zasićenje kisikom i koncentracija klorofila (Chl-*a*) kao mjera fitoplanktonske aktivnosti.

U Riječkom zaljevu i luci Rijeka (Slika 3a) u proljetnim i ljetnim mjesecima izmjerene su DOC koncentracije koje upućuju na blago mezotrofne uvjete (DOC: 1,496 - 1,745 mg/L), a u kolovozu 2018. godine izmjerena je najviša vrijednost DOC za priobalne vode (3,179 mg/L) koja upućuje na eutrofne uvjete u vodenom stupcu (Slika 2, 3). Temperatura ($R = 0,410$) ima značajniji utjecaj na DOC u odnosu na salinitet na ovoj postaji ($R = 0,234$). Postoji statistički značajna negativna korelacija između DOC i Chl-*a* u površinskom sloju ($R = -0,366$) te statistički značajna pozitivna korelacija u pridnom sloju ($R = 0,748$) u proljeće što vjerojatno sugerira na potrošnju labilne, netom proizvedene OT i pojačani transport kroz vodeni stupac. U vodenom stupcu zamijećen je i pad zasićenja kisikom (od 134 % na 88 %) kao posljedica sve izraženije stratifikacije. Koncentracija otopljenog kisika u istraživanom razdoblju kretala se u rasponu od 4,89 - 6,67 mg/L. Sukladno navedenom, ovo područje je jedno od rijetkih na Jadranu koje je promijenilo trofički status iz vrlo dobrog u dobro prema rezultatima monitoringa u 2022. godini. Izmjerene koncentracije TOC u sedimentu su ispod 1,5 % (Slika 4), karakteristične za sedimente obalnog područja istočnog Jadrana (JASPPER, Jurina i drugi, 2013).



Slika 2. Raspodjela DOC u istočnom Jadranu po postajama za a) priobalne i b) prijelazne vode; JJ=južni Jadran, SrJ=srednji Jadran, SJ=sjeverni Jadran

U Bakarskom zaljevu (Slika 3b) koji je pod značajnim utjecajem slatke vode (salinitet 7,37 - 38,61) DOC koncentracije su sporadično rasle do 1,633 mg/L (Slika 3) što upućuje na epizodno blago mezotrofne uvjete u svim sezonama osim zime. Slaba ($R = 0,24$) ali značajna korelacija između DOC i zasićenja kisikom, upućuje na povezanost DOC i primarne produkcije, odnosno razgradnje OT. U prilog tome ide i činjenica da su ovo područje uz luku Pula jedina u Jadranu, koja po kriteriju prozirnosti imaju dobar, a ne vrlo dobar status (Izvešće monitoringa za 2022.). Uvjeti iz vodenog stupca odražavaju se i na koncentraciju TOC u sedimentu (Slika 4) koji je u istraživanom razdoblju obogaćen organskim C (4,9 - 6,1 %).

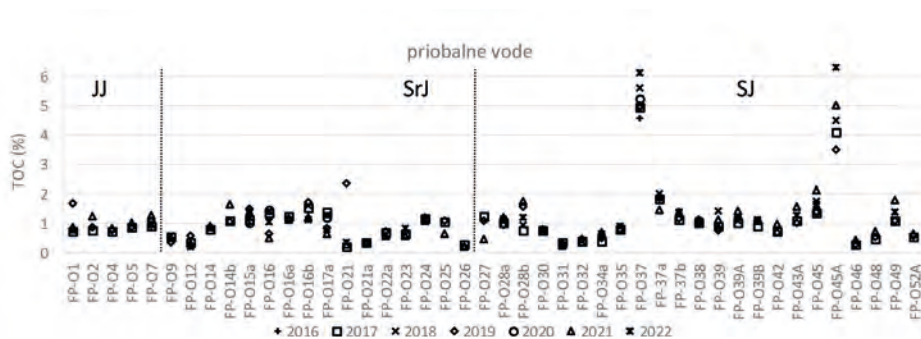


Slika 3. DOC u odabranim priobalnim područjima: a) Riječki zaljev, b) Bakarski zaljev i c) luka Pula – mjerene vrijednosti DOC; crtkana crta=oligotrofno, crta-točka-crta=mezotrofno, puna crta=eutrofno stanje; visoka vrijednost DOC (3,179 mg/L) izmjerena je na postaji FP-039b u 8. mjesecu na površini

Pulsku luku (Slika 3c) karakteriziraju DOC koncentracije koje ponekad u proljeće narastu do 1,625 mg/L, no koncentracije TOC u sedimentu na ovoj su lokaciji značajno povišene (do 6,3 %) u odnosu na TOC od 1,5 % karakterističan za sedimente istočnog Jadrana (JASPPer, Jurina i drugi, 2013; Slika 4). DOC je pozitivno statistički značajno koreliran s temperaturom i zasićenjem kisikom, osobito u površinskom sloju ($R = 0,604$, $R = 0,510$) što upućuje na ovisnost o primarnoj produkciji i razgradnji OT. Za iste vrijednosti DOC

ne postoji korelacija s Chl-*a* s obzirom da prevladavaju vrste koje imaju relativno mali doprinos Chl-*a* dok njihov cvat značajno povećava sadržaj organskog C, što je u skladu sa sve češćom pojavom tzv "red tide" tj. cvata dinoflagelate *Noctiluca scintillans* (Fonda-Umani i drugi, 2004; Simonović i drugi, u postupku recenzije).

TOC u sedimentu svih istraživanih postaja kretao se u rasponu 0,2 - 6,3 % za priobalne (Slika 4) i 0,1 - 5,5 % za prijelazne vode; povišen je u područjima u kojima je mjereno i povišen DOC u vodenom stupcu ukazujući na povremeno mezotrofne/eutrofne uvjete. Uz ranije spomenute luku Pula i Riječki zaljev, povišen TOC u sedimentu izmjeren je i u priobalnim vodama Bračko - splitskog kanala te prijelaznim vodama rijeka Cetine (P6a, P7, P8), Jadro (P9a, P10, P10a), Raše (P19, P20), Mirne (P21a, P22) te Dragonje (P23, P24).



Slika 4. TOC u sedimentima priobalnih voda; JJ=južni Jadran, SrJ=srednji Jadran, SJ=sjeverni Jadran

ZAKLJUČAK

Višegodišnje sustavno praćenje DOC parametra pokazalo je da se u vodenom stupcu prijelaznih i priobalnih postaja izmjenjuju razdoblja visokog i niskog sadržaja DOC koji se brže ili sporije metabolizira, transformira i tone prema dnu, što u Bakarskom zaljevu i na području luke Pula trajno obogaćuje sediment organskim C. Različiti su uzroci povremenog obogaćivanja vodenog stupca organskim C, kao npr. pojačan slatkovodni donos u Bakarskom zaljevu, stratifikacija vodenog stupca uz pojavu povremenih hipoksičnih uvjeta u Riječkom zaljevu te sve češći cvatovi *Noctiluca scintillans* u luci Pula. TOC u sedimentu povišen je u područjima gdje su povremeno povišene koncentracije DOC u vodenom stupcu.

Zaključno se može reći, da su priobalne i prijelazne vode istočnog Jadrana, bez obzira na opažene klimatske (porast temperature i saliniteta) i antropogene pritiske (intenzivni turizam), okarakterizirane niskim koncentracijama DOC, ukazujući na prevladavajuće oligotrofne uvjete. Povremena pojava mezotrofno/eutrofnih uvjeta potvrđena je za nekoliko područja (Riječki zaljev, Bakarski zaljev, luka Pula, Bračko - splitski kanal, Pašmansko - zaderski kanal, Linski kanal te rijeke Cetina, Jadro, Raša, Mirna i Dragonja) u kojima potencijalno može doći do pogoršanja ekološkog stanja.

ZAHVALA

Autori se zahvaljuju Hrvatskim vodama na dijeljenju svih podataka ekološkog monitorin- ga, kao i projektima Hrvatske zaklade za znanost, IP-11-2013-1205, SPHERE i IP-2018- 01-1717, MARRES vezano za diskusiju dugoročnih rezultata DOC u sjevernom Jadranu.

LITERATURA

- [1] Ciglenečki I., Vilibic I., Dautović J., Vojvodić V., Čosović B., Zemunik P., Dunić N., Mihanović H. (2020): *Dissolved organic carbon and surface active substances in the northern Adriatic Sea: long-term trends, variability and drivers*, Science of the total environment, 730, 139104
- [2] Dafner E.V. i Wangersky P.J. (2002): *A brief overview of modern directions in marine DOC studies Part I. – Methodological aspects*, Journal of Environmental Monitoring 4, 48-54
- [3] Dautović J., Vojvodić V., Tepić N., Čosović B., Ciglenečki I. (2017): *Dissolved organic carbon as potential indicator of global change: A long-term investigation in the northern Adriatic*, Science of the Total Environment 587-588, 185-195
- [4] Fonda-Umani S., Beran A., Parlato S., Virgilio D., Zollet T., De Olazabal A., Lazarini B., Cabrini M. (2004): *Noctiluca scintillans MACARTNEY in the Northern Adriatic Sea: long-term dynamics, relationships with temperature and eutrophication, and role in the food web*, Journal of Plankton Research 26/5, 545-561
- [5] Hansell D.A. and Carlson C.A. (eds), (2015): *Biogeochemistry of marine dissolved organic matter – second edition*, Academic Press Elsevier, 693
- [6] JASPPer Projekt (Joint Actions for Sea Pollution Prevention), Report April 2015
- [7] Jurina I., Ivanić M., Troškot-Čorbić T., Barišić D., Vdović N., Sondi I. (2013): *Activity concentrations and distribution of radionuclides in surface and core sediments of the Neretva Channel (Adriatic Sea, Croatia)*, Geologica Croatica 66/2, 143-150
- [8] Laws E.A. i Archie, J.W. (1981): *Appropriate use of regression analysis in marine biology*, Marine Biology 65, 13-16
- [9] Nixon S. W. (1995): *Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns*. Ophelia, 41 199-219.
- [10] Simonović N., Marguš M., Paliaga P., Budiša A., Ciglenečki I., *Changes in organic carbon properties during intense plankton blooms and macroaggregate formation in the coastal Adriatic Sea (Croatia)*, Mediterranean Marine Science - u fazi recenzije.
- [11] Rezultati sustavnog ispitivanja stanja prijelaznih i priobalnih voda i voda u područjima podložnim eutrofikaciji za 2022. godinu na području srednjeg i južnog Jadrana, dio prvi: Stanje prijelaznih i priobalnih voda

AUTORI

dr. sc. Jelena Dautović ^a

Niki Simonović, mag. ing. techn. aliment ^a

Iva Dominović, mag. phys. - geophys ^a

Zdeslav Zovko, ing ^a

dr. sc. Irena Ciglencčki-Jušić ^a

^a Institut Ruđer Bošković, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Bijenička 54, Zagreb, Hrvatska, jdautov@irb.hr, nsimonov@irb.hr, idominov@irb.hr, zzovko@irb.hr, irena@irb.hr



TEMA 2.

**SUSTAVI UREĐENJA
I KORIŠTENJA VODA I ZEMLJIŠTA -
STANJE I RAZVOJNI PROJEKTI**

Recenzenti:

**Monika Babačić, Danko Biondić, Ivan Čanjevac, Danko Holjević, Barbara
Karleuša, Tarik Kupusović, Neven Kuspilić, Stevan Prohaska, Davor Romić,
Marija Romić, Josip Rubinić, Lidija Tadić**



R 2.01.

OPERATIVNI SUSTAVI ZA PROGNOZIRANJE POPLAVA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Luka Vukmanić, Tatjana Vujnović

SAŽETAK: Prognoziranje poplava ima dugu tradiciju u Republici Hrvatskoj koja se nastavlja izradom operativnih prognostičkih sustava u sklopu projekta VEPAR. Izradom prognostičkih modela za područje Drave i Dunava odnosno Jadrana, uz postojeći model Save, pružiti će se cjeloviti sustav prognoziranja poplava na velikoj većini vodotoka značajnih za obranu od poplava u Hrvatskoj. Operativni prognostički sustav će sadržavati jedinstveni hidrološko - hidraulički model te će biti integrirani sustav koji će sadržavati sve potrebne alate i podatke za predviđanje poplava u stvarnom vremenu.

KLJUČNE RIJEČI: Prognoza, Poplava, Hidrološki, Hidraulički, Model, Operativni sustav

OPERATIONAL FLOOD FORECASTING SYSTEMS IN THE REPUBLIC OF CROATIA

ABSTRACT: Flood forecasting has a long tradition in the Republic of Croatia, which is continuing with the development of operational forecasting systems as part of the VEPAR Project. Developing forecasting models for the Drava/Danube and Adriatic areas, in addition to the existing Sava model, will provide a comprehensive flood forecasting system on the majority of watercourses important for flood defence in Croatia. The operational forecasting system will contain a unique hydrological/hydraulic model, and will be an integrated system that will include all necessary tools and data for flood forecasting in real time.

KEYWORDS: Forecast, Flood, Hydrological, Hydraulic, Model, Operational system

1. UVOD

Prognoziranje velikih voda u Hrvatskoj ima dugu tradiciju, a razvoj sustava koji je i danas u uporabi započeo je krajem 60 - tih godina 20. stoljeća uspostavljanjem UKV sustava za komunikaciju, te uspostavljanjem telemetrijskog sustava za prikupljanje hidroloških podataka sredinom 70 - tih godina 20. stoljeća.

Danas, aktivnosti na razvoju prognostičkih sustava velikih voda i operativnom prognoziranju provode zajednički Državni hidrometeorološki zavod i Hrvatske vode. Sustavom za

prikupljanje podataka u realnom vremenu obuhvaćeno je oko 80 meteoroloških i oko 400 hidroloških postaja s parametrima i frekvencijom dojava prilagođenim potrebama. Osim toga dostupan je i niz satelitskih i radarskih produkata koji pokrivaju cjelokupno područje Hrvatske. Koriste se produkti dva meteorološka prognozna modela ALADIN (Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational) numerički modelski sustav za kratkoročnu prognozu vremena visoke razlučivosti te ECMWF (European Centre for Medium - Range Weather Forecasts) koji je globalni prognostički sustav.

Hrvatska je također uključena u niz inicijativa i projekata na međunarodnom nivou kao što su European Flood Awareness System (EFAS), South East Europe Flash Flood Guidance System (SEEFFGS), Danube HIS, Sava HIS, Sava FFWS i niz drugih koji dodatno pridonose povećanju podatkovne osnove za prognoziranje, osiguravaju dodatni prognostički materijal i/ili distribuiraju upozorenja.

U sklopu Projekta unaprjeđenja negrađevinskih mjera upravljanja rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj - VEPAR, odobrenog u sklopu Prioritetne osi 5: Klimatske promjene i upravljanje rizicima, Investicijskog prioriteta 5b - Promicanje ulaganja koja se odnose na posebne rizike, osiguranje otpornosti na katastrofe i razvoj sustava za upravljanje katastrofama, te specifičnog cilja 5b1: Jačanje sustava upravljanja katastrofama, Operativnog programa Konkurentnost i kohezija 2014. - 2020. kao jednim od elemenata predviđeno je i unaprjeđenje sustava za prognoziranje poplava što se odnosi na uspostavu operativnog sustava za prognoziranje fluvijalnih poplava na cijelom teritoriju Republike Hrvatske.

Navedeni sustav sastojati će se od hidroloških prognostičkih modela za simulaciju procesa otjecanja sa slivnih područja koji koriste raspoložive meteorološke prognoze, hidrauličkih prognostičkih modela za simulaciju procesa tečenja i fluvijalnog plavljenja koji se temelje na hidrološkim prognozama otjecanja te operativnih prognostičkih sustava. Izradu navedenog sustava zajedno provode Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) i Hrvatske vode (HV) s rokom završetka krajem 2023.

2. POSTOJEĆI SUSTAV TE PODLOGE I PODACI ZA BUDUĆI SUSTAV

2.1. Postojeći sustav

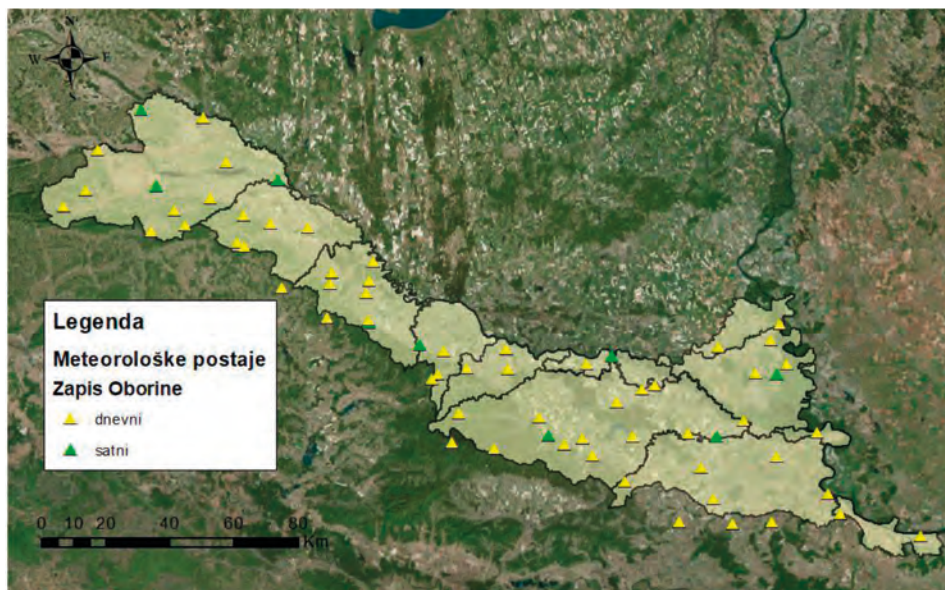
U razdoblju od 2014. - 2016. razvijan je i izrađen hidrološko - hidraulički model sliva Save (Sava SM2) u Republici Hrvatskoj s važnijim pritocima, čiji su dijelovi naknadno poboljšani kroz FRISCO1 projekt (2016. - 2019.). Sava SM2 model se operativno pokreće satnom frekvencijom u Državnom hidrometeorološkom zavodu i daje prognozu vodostaja i protoka do 120 sati unaprijed za 171 prognostičku točku, od kojih je 137 u Hrvatskoj. Model sadrži 517 km toka rijeke Save, 2.592 km pritoka, 24 preljeva, 16 kontrolnih objekata i 13 retencija kao što prikazuje Slika 1. Ulazni podaci modela su ARSO prognoza protoka Save na izlazu iz Slovenije u Hrvatsku (Jesenice na Dolenjskem), vodostaji i protoci, količine oborine i temperature zraka u stvarnom vremenu s automatskih hidroloških i meteoroloških postaja u Hrvatskoj, Sloveniji i Bosni i Hercegovini te rezultati numeričkih meteoroloških prognostičkih modela (ALADIN/HR horizontalne razlučivosti 4 km do 72 h unaprijed i ECMWF horizontalne razlučivosti oko 9 km, od 73 do 120 h unaprijed).



Slika 1. Prikaz vodotoka i hidroloških postaja u postojećem modelu modelu SM2 podsliva Save

2.2. Područje Drave i Dunava

Za potrebe izrade prognostičkih sustava prikupljeni su podaci o dnevnim ili satnim oborinama za 58 meteorološke postaje te podaci temperature na 20 postaja. Većina postaja za koje su prikupljeni podaci raspolažu s mjerenjima za period 2008. - 2018. koji je korišten pri kalibraciji hidroloških modela dok se prostorni raspored meteoroloških postaja može vidjeti na Slici 2.

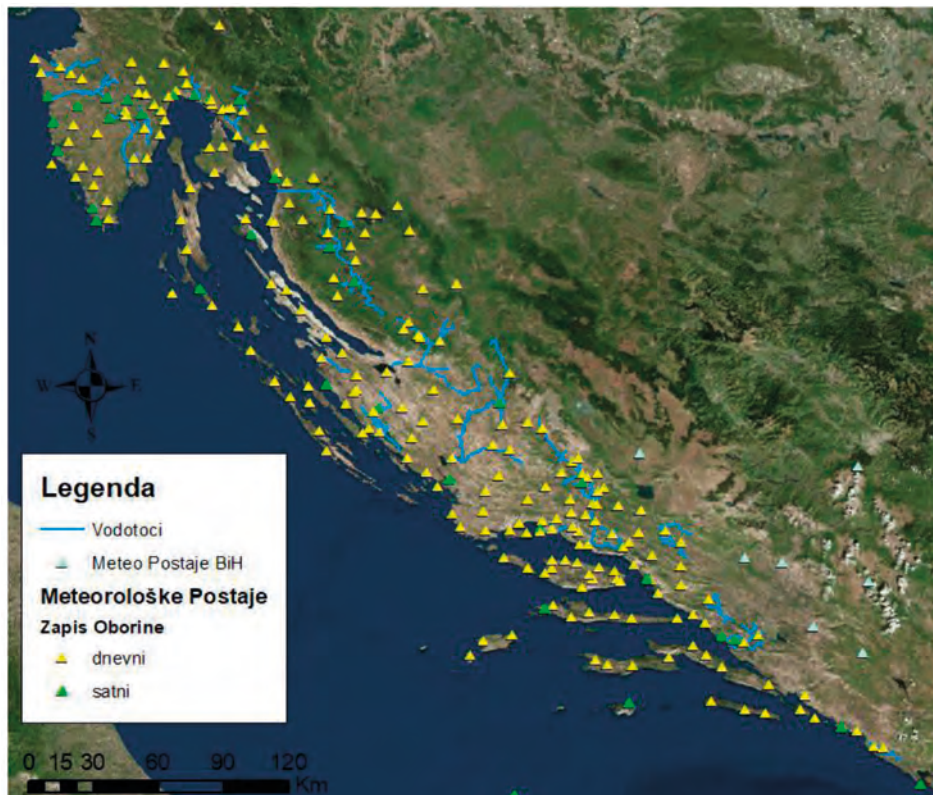


Slika 2. Prikaz meteoroloških postaja s podjelom na dnevne i satne zapise oborina [Prognostički sustav (VEPAR) Grupa 1 - Prognostički sustav Drava / Dunav TREĆI IZVJEŠTAJ O NAPRETKU - Konačni nacrt hidrauličkih prognostičkih modela - DIO 2]

Podaci o evapotranspiraciji definirani su u DHMZ-u metodom Penman - Monteith za isti desetogodišnji period u obliku srednje mjesečne vrijednosti dok su hidrološki podaci prikupljeni za satne i dnevne vrijednosti protoka i vodostaja s ukupno 52 hidrološke postaje od kojih je većina na slivu unutar Republike Hrvatske te manji dio izvan granica države. Na području obuhvata izgrađene su tri hidroelektrane na rijeci Dravi te veći broj hidroelektrana izvan teritorija Republike Hrvatske čiji rad značajno utječe na promjenu hidrološkog dotoka te na izradu i kalibraciju modela.

2.3. Područje Jadrana

Kao i na području Drave i Dunava prikupljeni su podaci za isti period i to za 242 meteorološke postaje s dnevnim ili satnim podacima te podacima temperature na 71 postaji kao što je prikazano na Slici 3.



Slika 3. Prikaz meteoroloških postaja s podjelom na dnevne i satne zapise oborina [Prognostički sustav (VEPAR) Grupa 2 - Prognostički sustav Jadran TREĆI IZVJEŠTAJ O NAPRETKU - Konačni nacrt hidrauličkih prognostičkih modela - DIO 3]

Podaci o evapotranspiraciji dobiveni su istom metodom kao i za Drava / Dunav, a hidrološki podaci vodostaja i protoka u satne ili dnevne frekvencije s 237 hidrološke postaje od kojih 162 imaju podatke o protoku.

Na ovom području izgrađeno je petnaest hidroelektrana te značajan broj akumulacija, brana i sličnih objekata te tunela i crpnih stanica koji remete prirodni vodni režim ili prebacuju vodu na drugi sliv što ima značajan utjecaj na izradu i kalibraciju modela.

3. OPERATIVNI PROGNOŠTIČKI SUSTAV

U sklopu izrade operativnih prognostičkih sustava predviđeno je 89 prognostičkih lokacija na području Drave i Dunava te 53 prognostičke lokacije na području Jadrana što je prikazano na Slici 4. Modeli se izrađuju za one vodotoke koji su u Planu obrane od poplava odnosno na onima koji su prethodno ocjenjeni kao najpotrebniji.



Slika 4. Prikaz vodotoka i predviđenih prognostičkih lokacija na području Drave i Dunava odnosno Jadrana

Kalibracija hidroloških modela, kao i kasnije hidrauličkih, provodi se za podatke razdoblja od 2008. do 2018. godine.

Na mjestima gdje su za rad sustava potrebni podaci van Republike Hrvatske kao ulazni podaci u prognostički sustav koristiti će se ili izlazni podaci hidrološko - hidrauličkih modela susjednih uzvodnih zemalja kao što je slučaj kod Drave i Mure ili se na primjeru Neretve spajanjem hidrološkog i hidrauličkog modela provela kalibracija na vodostaje iz razloga što se veći broj hidroenergetskih objekata i sliva nalazi u Bosni i Hercegovini. Kod Neretve su uzvodni rubni uvjeti definirani kao konstantni dotok na najuzvodnijim poprečnim presjecima u Hrvatskoj.

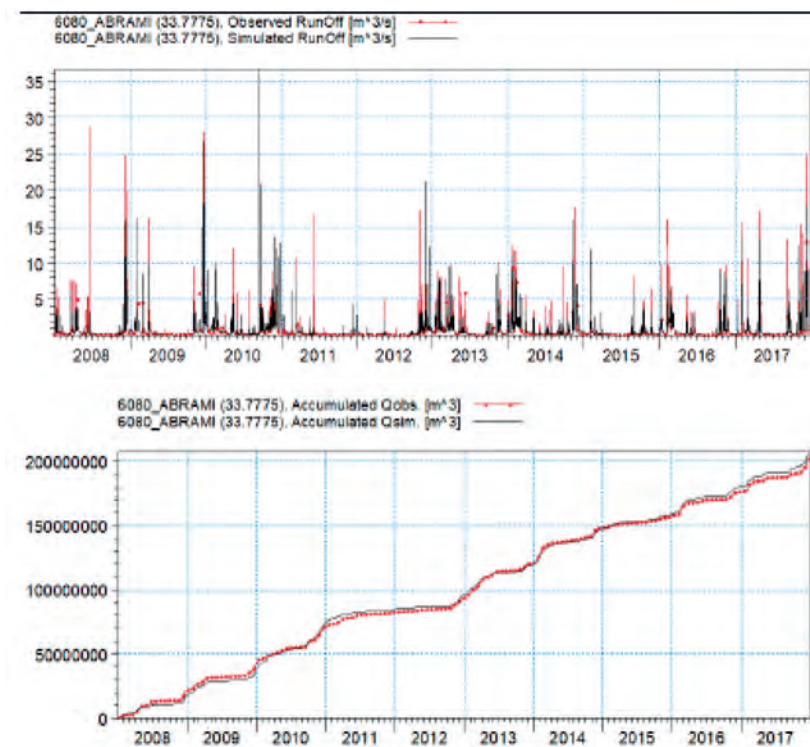
3.1. Hidrološki modeli

Hidrološki modeli otjecanja su matematički modeli koji opisuju odnose između oborina i otjecanja na određenoj slivnoj površini, a koriste se podaci o ulazima i izlazima hidrološkog sustava te podaci o procesnim parametrima sliva. Za modeliranje korišten je NAM (NedborAfstromnings Model) deterministički konceptualni hidrološki model koji kao ulazne podatke uzima početne uvjete, meteorološke podatke, podatke o protoku i parametre modela gdje je oborina najvažnije ulazna veličina.

Radi lakše izrade hidroloških modela i bržeg procesa kalibracije, projektom obuhvaćena slivna područja na području Jadrana podijeljena su u desetak grupa, odnosno hidroloških modela dok je na području Drave i Dunava projektom obuhvaćeno područje podijeljeno u dva dijela, uzvodni i nizvodni koje će na kraju, kao i u slučaju područja Jadrana, biti spojeni u jednu cjelinu i činiti će ulaz u hidraulički model.

Većina podslivova definirana je tako da na najnižvodnijoj lokaciji imaju hidrološku postaju za koju je definiran protok koja omogućuje usporedbu mjenenog i simuliranog protoka dok su ostali slivovi definirani prema pripadnosti pritoku koja nema mjenen sliv. Osim slivova unutar Republike Hrvatske u modelu se nalaze i dodatni slivovi na područjima susjednih država koji predstavljaju najuzvodnije slivove prekograničnih rijeka. Osim definiranje podslivova prema pripadnosti određenim hidrološkim postajama bilo je važno i analizirati fizičke značajke slivova, mjerene podatke protoka te definirati specifični dotok svakog sliva.

Na nekim podslivovima, koji su uglavnom rubni slivovi, bilo je moguće provesti autokalibraciju dok je na ostalim kombiniranim slivovima kalibracija rađena ručno te je prikaz rezultata primjera kalibracije prikazana na Slici 5.



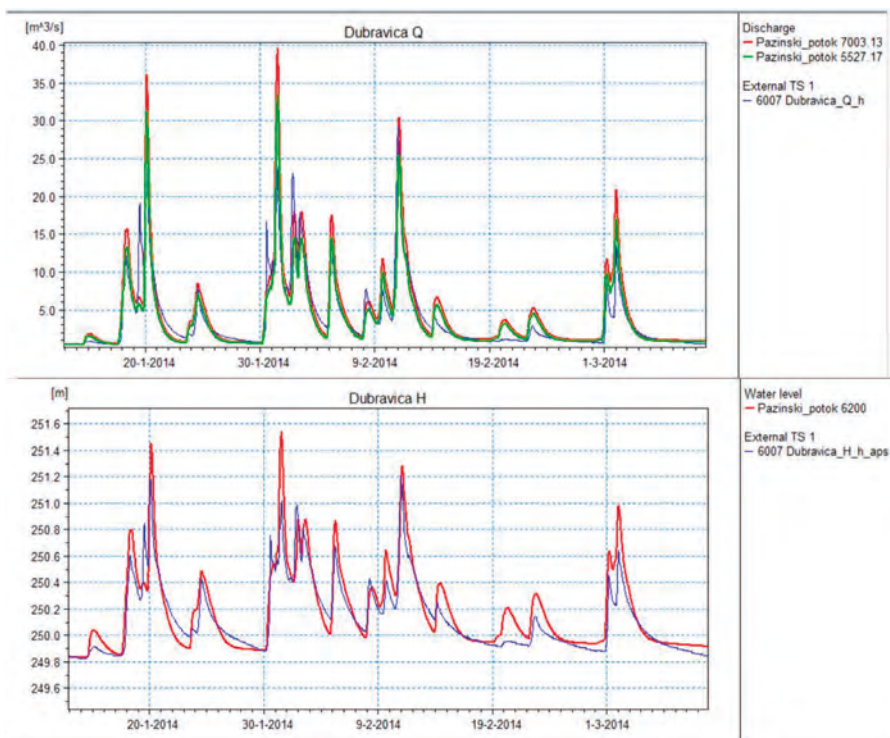
Slika 5. Primjer rezultata kalibracije hidrološkog modela na vodotoku Mirna i hidrološkoj postaji Abrami [Prognostički sustav (VEPAR) Grupa 2 - Prognostički sustav Jadran TREĆI IZVJEŠTAJ O NAPRETKU - Konačni nacrt hidrauličkih prognostičkih modela - DIO 3]

3.2. Hidraulički modeli

Izrada hidrodinamičkih modela tečenja podrazumijeva unos mreže modela, poprečnih presjeka te određivanje rubnih uvjeta i hidrodinamičkih parametara te se na njih veže otjecanje sa slivova koje je prethodno definirano izradom hidroloških modela. Za pokretanje prognostičkih sustava bitna je stabilnost odnosno pouzdanost izvršavanja situacija te trajanje same simulacije. Stoga je bilo potrebno prilagoditi broj korištenih poprečnih presjeka brzini i stabilnosti modela te u prosjeku modeli imaju razmak između poprečnih profila 1.000 - 1.500 metara.

Gornji rubni uvjeti uneseni su kao minimalni konstantni dotok u korito dok su donji rubni uvjeti definirani kao Q-H krivulja ili vodostaj ovisno o dostupnosti podataka.

Kalibracija hidrauličkih modela se provodila podešavanjem koeficijenta hrapavosti i drugih parametara kao bi se postigle zadovoljavajući odnos izmjerenih i simuliranih vodostaja ili protoka. Proces je iterativan te se podešavaju razni parametri kako bi se dobila što bolje odgovaranje izmjerenim vrijednostima. Kalibracija modela se provodila na povijesnim podacima 2008. - 2018. dok se verifikacija provodila na najmanje jednom događaju izvan tog vremenskog perioda. Prikaz jednog odnosa izmjerenih i simuliranih vrijednosti se može vidjeti na slici 6 za Pazinski potok.

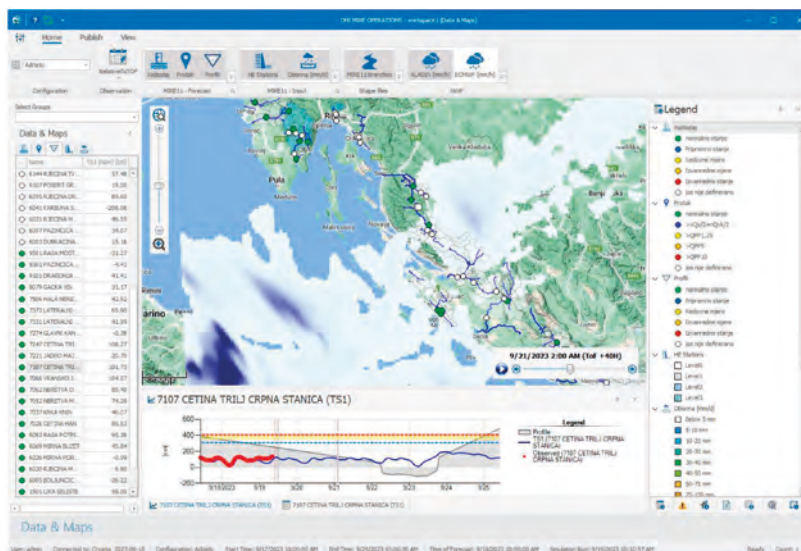


Slika 6. Primjer rezultata kalibracije hidrauličkog modela na vodotoku Pazinski potok i hidrološkoj postaji Dubravica [Prognostički sustav (VEPAR) Grupa 2 - Prognostički sustav Jadran TREĆI IZVJEŠTAJ O NAPRETKU - Konačni nacrt hidrauličkih prognostičkih modela - DIO 3]

3.3. Operativni sustav

Svi pojedini podmodeli na kraju će biti objedinjeni u jedinstveni hidrološko - hidraulički model Jadrana odnosno Drave / Dunava koji će se, kalibrirani i verificirani, dalje koristiti za izradu prognostičkog modela koji će uključivati asimilaciju podataka, ulazne prognoze protoka odnosno vodostaja iz uzvodnih susjednih država i biti osnova za izradu operativnog prognostičkog sustava za predviđanje poplava.

Operativni sustav će biti integrirani sustav koji će sadržavati sve potrebne podatke i alate za predviđanje poplava u stvarnom vremenu i rano uzbunjivanje, a koristiti će matematičko modeliranje povezano s izvorima podataka iz Republike Hrvatske i okolnih zemalja.



Slika 7. Primjer operativnog prognostičkog sustava za Jadran [Prognostički sustav (VEPAR) Grupa 2 - Prognostički sustav Jadran ČETVRTI IZVJEŠTAJ O NAPRETKU - Nacrt operativnog prognostičkog sustava]

ZAKLJUČAK

Duga tradicija korištenja prognoza u operativnoj obrani od poplava je dokazala njihov veliki značaj na smanjenju rizika od poplava te je radi toga pokrenut niz aktivnosti na unaprjeđenju od kojih su najvažnije unaprjeđenje sustava monitoringa i razvoj prognostičkih sustava za područje rijeka Drave i Dunava, te za jadransko vodno područje (projekt VEPAR). U budućnosti se planira sustav hidrološkog prognoziranja prilagoditi potrebama vezanim za pojavu malih voda i suša.

Modeli Drave / Dunava i Jadrana koji će postati operativni do kraja 2023. godine će sa operativnim modelom Save postati cjeloviti sustav prognoziranja poplava Republike Hrvatske. Time će se po prvi puta omogućiti dobivanje podataka o mogućim velikim vodama u stvarnom vremenu do nekoliko dana unaprijed za većinu hidroloških postaja bitnih za obranu od poplava naše države.

LITERATURA

- [1] Hrvatske vode (2023.): *Plan upravljanja vodnim područjima do 2027.*, Zagreb 2023.
- [2] PRONING DHI d.o.o., INSTITUT ZA ELEKTROPRIVREDU d.d. (2022.): *Prognostički sustav (VEPAR) Grupa 1 - Prognostički sustav Drava / Dunav TREĆI IZVJEŠTAJ O NAPRETKU - Konačni nacrt hidrauličkih prognostičkih modela - DIO 2*, Zagreb 2022.
- [3] PRONING DHI d.o.o., INSTITUT ZA ELEKTROPRIVREDU d.d. (2023.): *Prognostički sustav (VEPAR) Grupa 2 - Prognostički sustav Jadran TREĆI IZVJEŠTAJ O NAPRETKU - Konačni nacrt hidrauličkih prognostičkih modela - DIO 3*, Zagreb 2023.
- [4] PRONING DHI d.o.o., INSTITUT ZA ELEKTROPRIVREDU d.d. (2023.): *Prognostički sustav (VEPAR) Grupa 2 - Prognostički sustav Jadran ČETVRTI IZVJEŠTAJ O NAPRETKU - Nacrt operativnog prognostičkog sustava*, Zagreb 2023.

AUTORI

Luka Vukmanić, mag. ing. aedif. ^a

dr. sc. Tatjana Vujnović, dipl. ing. geol. ^b

^aHrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska,
luka.vukmanic@voda.hr

^bDržavni hidrometeorološki zavod, Ravnice 48, 10000 Zagreb, Hrvatska,
tatjana.vujnovic@cirus.dhz.hr



R 2.02.

MOGUĆNOSTI ŠIRE IMPLEMENTACIJE MJERA ZELENE INFRASTRUKTURE U SMANJENJU RIZIKA OD POPLAVA

Želimir Marojević, Diana Šustić

SAŽETAK: Osnovni ciljevi ove studije su stvaranje osnovnih podloga za procjenu mogućnosti šire implementacije mjera zelene infrastrukture u smanjenju rizika od poplava te identificiranje mreže najznačajnijih područja za očuvanje ili eventualno uspostavljanje zelene infrastrukture. Vrste i područja zelene infrastrukture obuhvaćene ovom studijom su poplavna područja (*floodplains*), uređene i neuređene inundacije, brdske i nizinske retencije, krška polja i ponorske zone, područja neporemećenog toka vode (meandriranja), prirodne mjere za zadržavanje vode i slično. Mogućnost šire implementacije mjera zelene infrastrukture analizirana je kroz tri aktivnosti: određivanje postojećih područja za tečenje i prihvata velikih voda, određivanje potencijalnih područja za tečenje i prihvata velikih voda te određivanje područja na kojima je provedeno prosijecanje meandara i izgradnja umjetnih korita. Postojeća područja podrazumijevaju sva područja koja se danas u praksi upravljanja rizicima od poplava koriste za tečenje i prihvata velikih voda. Potencijalna područja za tečenje i prihvata velikih voda podrazumijevaju poplavna područja, kakva bi bila u prirodnom stanju, da nisu izgrađeni sustavi za smanjenje rizika od poplava, bez obzira kakvo je trenutno korištenje ili izgrađenost zemljišta. Za definiranje potencijalnih područja usvojena je odgovarajuća metodologija, koja je dobivena analizom metodologija devet različitih studija s područja EU, koja se bave restauracijom prirodnih poplavnih područja. Rezultat studije jesu tri baze podataka, u vidu vektorskih slojeva (*shape datoteka*) koji prikazuju analizirana područja na razini Republike Hrvatske.

KLJUČNE RIJEČI: Poplave, Zelena infrastruktura, Poplavna područja

POTENTIALS FOR A WIDER IMPLEMENTATION OF GREEN INFRASTRUCTURE MEASURES TO REDUCE FLOOD RISKS

ABSTRACT: The main goals of this study are to create baseline information for assessing the potentials for a wider implementation of green infrastructure measures to reduce flood risks and to identify a network of the most significant areas for preservation or possible establishment of green infrastructure. The areas and types of green infrastructure included in this study are floodplains, regulated and unregulated inundations, mountain and lowland retentions, karst fields and sinkhole zones, areas with undisturbed water flow (meandering), natural measures for water retention, etc. Potentials for a wider implemen-

tation of green infrastructure measures were analysed within three activities: determination of existing areas for floodwater flow and retention, determination of potential areas of floodwater flow and retention, and determination of areas where meander cutting and the artificial watercourse bed construction have been carried out. Existing areas include all areas used today in flood risk management practice for floodwater flow and retention. Potential areas for floodwater flow and retention include floodplains, as they would be in their natural state if the systems for flood risk reduction had not been built, regardless of their current use or development. For the determination of potential areas, appropriate methodology was adopted. It was the result of analysing the methodologies from nine different studies conducted in the EU, which are related to the restoration of natural floodplains. The study resulted in the creation of three databases in the form of vector layers (shape files) showing the analysed areas at the level of the Republic of Croatia.

KEYWORDS: Floods, Green infrastructure, Floodplains

1. UVOD

Zelena infrastruktura je multifunkcionalna mreža zaštićenih i ostalih prirodnih te čovjekovim djelovanjem stvorenih područja i krajobraza visoke ekološke i okolišne vrijednosti koja unapređuju usluge ekosustava. Kao takva, predstavlja jednu od vrlo značajnih mjera upravljanja rizicima od poplava, koja može vrlo povoljno utjecati na ekološko stanje voda, što je prepoznato i u Okvirnoj direktivi o vodama Europske unije. Ova studija izrađena je u sklopu Projekta VEPAR, koji za cilj ima uspostavu unaprjeđenog upravljanja rizicima od poplava na cjelokupnom teritoriju Republike Hrvatske, primjenom negrađevinskih mjera koje trebaju rezultirati smanjenju rizika od poplava, kroz unaprjeđenja u praćenju, analizama i iznalaženju optimalnih rješenja za integralno i održivo upravljanje vodama, vodnim okolišem i rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj. Cilj ove studije je stvaranje osnovnih podloga za procjenu mogućnosti šire implementacije mjera zelene infrastrukture u smanjenju rizika od poplava.

2. ODREĐIVANJE PODRUČJA ZA ŠIRU IMPLEMENTACIJU MJERA ZELENE INFRASTRUKTURE

Na osnovu dostupnih podloga, informacija i podataka dobivenih od Hrvatskih voda te definirane metodologije izrađena je prostorna podloga područja za širu implementaciju mjera zelene infrastrukture. Prostorna podloga sastoji se od tri cjeline: postojeća područja za tečenje i prihvata velikih voda, potencijalna područja za tečenje i prihvata velikih voda te područja na kojima je provedeno prosijecanje meandara i izgradnja umjetnih korita vodotoka.

2.1. Postojeća područja za tečenje i prihvata velikih voda

Postojeća područja za tečenje i prihvata velikih voda podrazumijevaju sva područja koja se danas u praksi upravljanja rizicima od poplava koriste za tečenje i prihvata velikih voda, odnosno područja na kojima je „prihvatljivo“ izlivanje i zadržavanje velikih voda.

Ovom aktivnošću obuhvaćena su sva područja, vodna tijela i hidrotehnički objekti koja

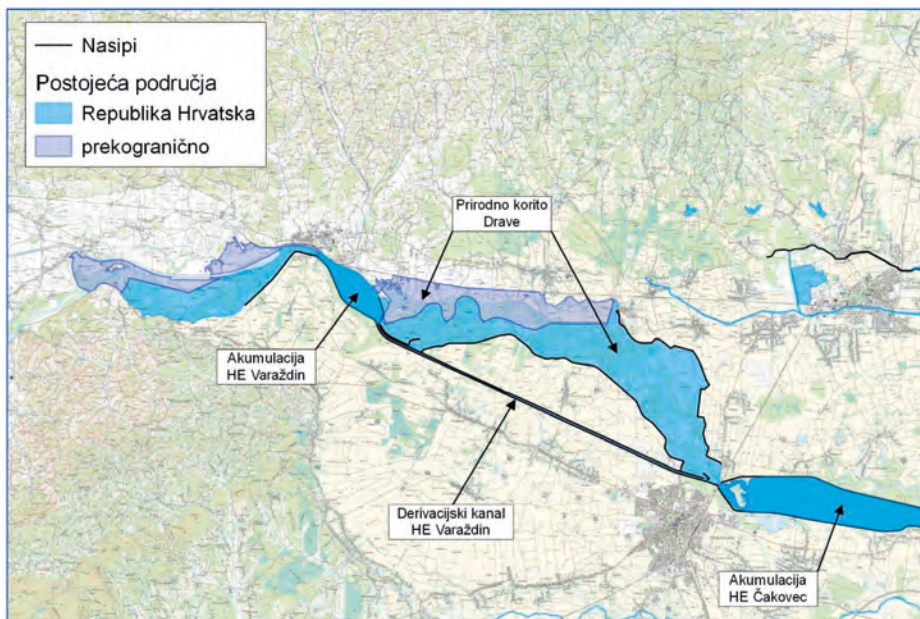
su u okviru Državnog plana obrane od poplava definirana kao dionice iz provedbenih planova obrane od poplava.

U pogledu vrste vodnih tijela / objekata, postojeća područja za tečenje i prihvrat velikih voda obuhvaćaju:

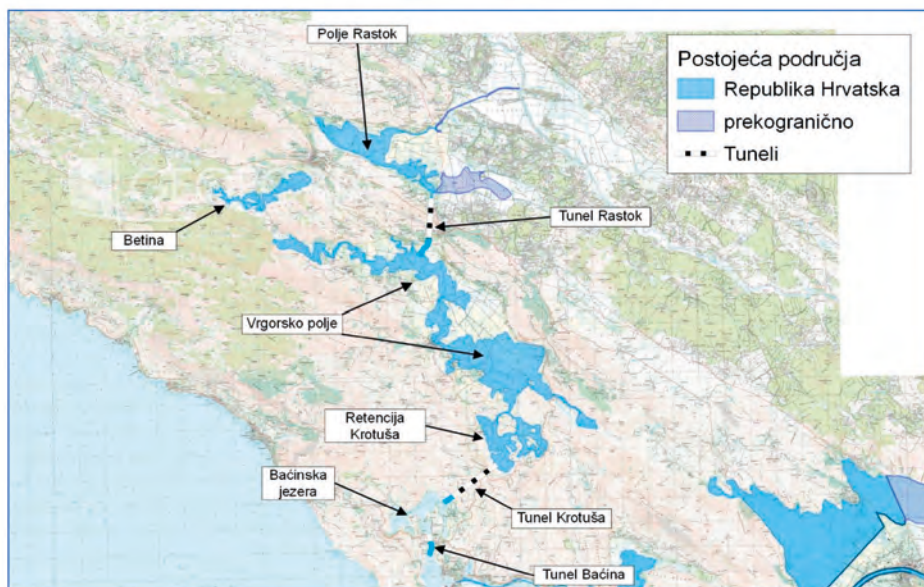
- prirodna korita vodotoka,
- prirodne inundacije (neuređene i uređene ali bez pojasa zemljišta potrebnog za njihovo redovito održavanje),
- korita vodotoka unutar izgrađenih nasipa,
- umjetne vodotoke (kanale),
- nizinske retencije,
- brdske retencije,
- krška polja i ponorske zone.

S obzirom na raznoliki stupanj izgrađenosti sustava obrane od poplava na različitim slivovima, kao i raznolike kriterije stupnja zaštite od poplava prema kojima su postojeći sustavi projektirani i izgrađeni, nije moguće definirati jedinstvenu vjerojatnost pojave kao hidrološko - hidraulički kriterij za definiranje obuhvata postojećih područja za tečenje i prihvat velikih voda. Stoga je naglasak dan na „prihvatljivu vjerojatnost“, pri čemu postojeća područja za tečenje i prihvat velikih voda neće obuhvaćati naseljena niti industrijska područja, a iznimno će obuhvaćati poljoprivredna područja. Za postojeće objekte (nasipe, brane, retencije, tunele, oteretne kanale i slično) početno je pretpostavljeno da svojim kapacitetom u potpunosti ispunjavaju funkciju područja za tečenje i prihvat velikih voda. Konačni obuhvat postojećih područja za tečenje i prihvat velikih voda definiran je nakon korekcije i verifikacije od strane stručnjaka iz Vodnogospodarskih odjela i ispostava Hrvatskih voda. U nastavku su prikazana postojeća područja za tečenje i prihvat velikih voda rijeke Drave na dionici od Dubrave Križovljanske do Varaždina (

Slika 1) i sustav Kanal Parilo - Brza voda - Matica Rastoka - Matica Vrgorska - Odvodni kanal - Jadransko more (Slika 2).



Slika 1. Postojeća područja za tečenje i prihvat velikih voda rijeke Drave na dionici od Dubrave Križovljanske do Varaždina



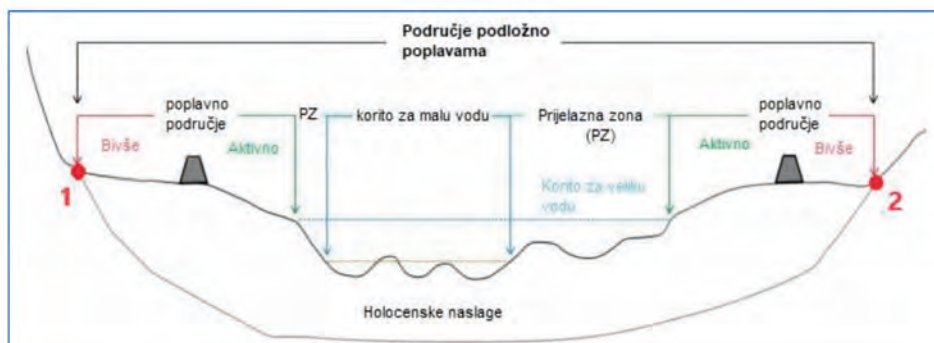
Slika 2. Postojeća područja za tečenje i prihvat velikih voda sustava Kanal Parilo - Brza voda - Matica Rastoka - Matica Vrgorska – Odvodni kanal - Jadransko more

2.2. Potencijalna područja za tečenje i prihvatanje velikih voda

Potencijalna područja za tečenje i prihvat velikih voda podrazumijevaju poplavna područja kakva bi bila u prirodnom stanju, da nisu izgrađeni sustavi za smanjenje rizika od poplava, bez obzira kakvo je trenutno korištenje ili izgrađenost zemljišta. Kriteriji i metodologije za određivanje potencijalnih područja definirani su temeljem devet analiziranih studija, koje su navedene u poglavlju Literatura.

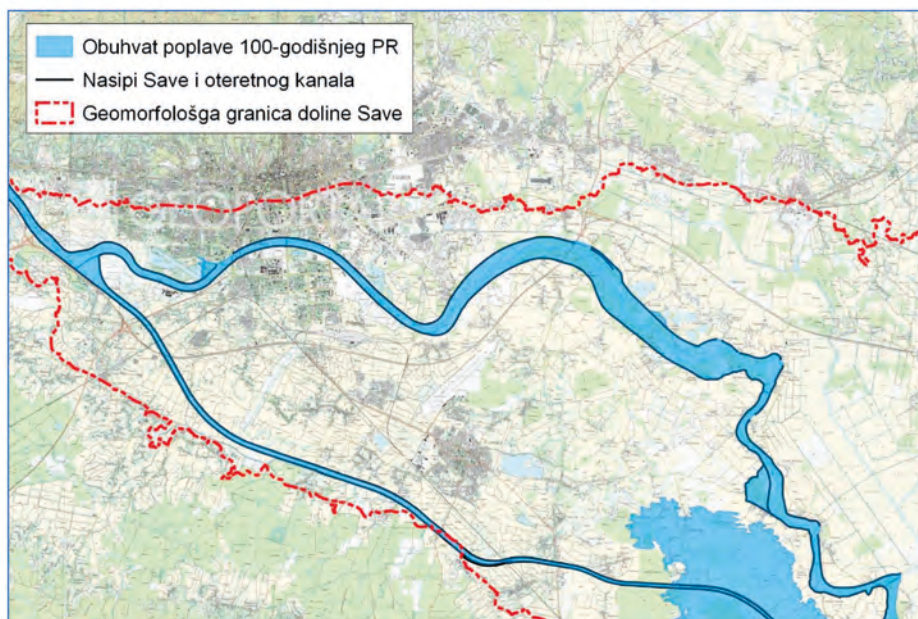
Dostupne hidrološko - hidrauličke podloge, odnosno karte opasnosti za srednju vjerojatnost pojavljivanja (100 - godišnje povratno razdoblje) predstavljaju osnovu za definiranje potencijalnih područja za tečenje i prihvat velikih voda. No, valja naglasiti da su to karte koje prikazuju postojeće stanje poplavnog područja, uključujući i izgrađene sustave obrane od poplava i druge objekte (prometnice) koji utječu na obuhvat poplavnih površina i razinu vodnog lica.

Na sljedećoj slici prikazan je shematski prikaz poprečnog presjeka riječne doline. Izgradnjom sustava za zaštitu od poplava prirodno poplavno područje podijeljeno je na „aktivno“, koje se nalazi unutar nasipa i povezano je s vodotokom te „bivše“, koje je u postojećem stanju nasipom odvojeno od vodotoka.



Slika 3. Shematski prikaz poprečnog presjeka riječne doline

Na sljedećoj slici prikazana je dionica Save od Zagreba do ustave Prevlaka, s usporednim prikazom obuhvata poplavnih linija 100 - godišnjeg povratnog razdoblja, geomorfološke granice doline rijeke Save i položaja izgrađenih savskih nasipa. Izgradnjom nasipa, odnosno sustava obrane od poplava smanjen je obuhvat poplavnih površina u odnosu na prirodno stanje, pri čemu je porasla razina vodnog lica u profilima unutar nasipa.



Slika 4. Usporedni prikaz obuhvata poplave 100 - godišnjeg PR i geomorfološke granice doline Save s ucrtanim nasipima, dionica Zagreb - Prevlaka

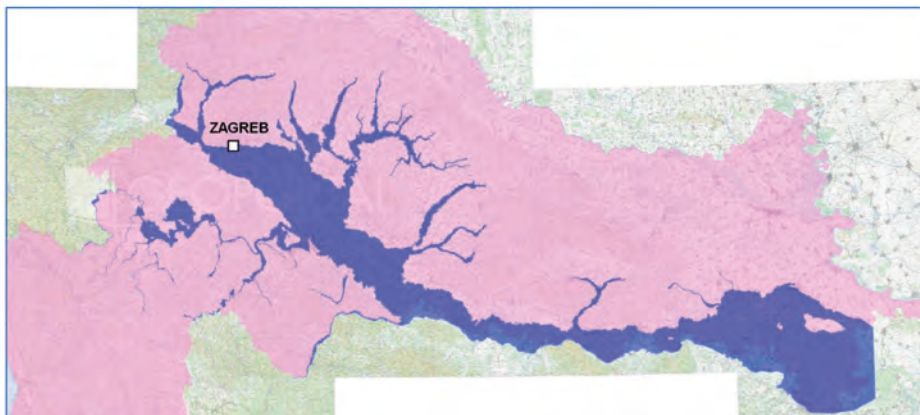
Stoga se može zaključiti da su prostorni podaci iz karata opasnosti od poplava primjenjivi samo na područjima sliva gdje nema izgrađenih sustava obrane od poplava, kao ni ostalih umjetnih objekata koji utječu na obuhvat poplave (nasipi cesta, željezničke pruge i slično).

U skladu s tim, osim hidrološkog kriterija, na područjima sa značajnom izmijenjenošću uvjeta tečenja u odnosu na prirodno stanje potrebno je primijeniti i geomorfološki kriterij. Prema analiziranoj metodologiji *Locating Spatial Opportunities for Nature - Based solutions: A River Landscape Application*, obuhvat prirodnih poplavnih područja definiran je pomoću hidromorfoloških krajobraznih jedinica (HLU). Geomorfološki kriterij za definiranje hidromorfološke jedinice poplavnih područja je energija reljefa, odnosno poprečni nagib terena $\leq 3\%$. Vanjski rub prirodnog poplavnog područja je „točka“ (označena brojevima 1 i 2 na Slika 3) u kojoj se premašuje taj nagib, odnosno točka prelaska iz blagog u strmiji nagib.

Temeljem analiziranih metodologija usvojen je sljedeći pristup: prirodna poplavna definiranju se kao područja plavljenja približno 100-godišnjeg povratnog razdoblja, u prirodnom stanju bez ikakvih antropogenih promjena morfologije i otjecanja. Uz hidrološki kriterij uvažavaju se i dodatne stručne procjene bazirane na geološkim, morfološkim, pedološkim i ostalim podlogama.

Za verifikaciju, odnosno eventualnu korekciju obuhvata prirodnih poplavnih područja korištena je i pedološka karta dostupna na mrežnim stranicama Agencije za zaštitu okoliša Republike Hrvatske, s definiranim kartiranim jedinicama koje odgovaraju prirodnim poplavnim područjima (primjerice aluvijalna tla, močvarno - glejna tla i slično).

Definirano je ukupno 110 potencijalnih područja za tečenje i prihvat velikih voda, ukupne površine 10.089,5 km². Na sljedećim slikama prikazana su potencijalna područja za tečenje i prihvat velikih voda na slivu Save te potencijalno područje za tečenje i prihvat velikih voda rijeke Vuke.



Slika 5. Potencijalna područja za tečenje i prihvat velikih voda na slivu rijeke Save



Slika 6 Potencijalna područja za tečenje i prihvat velikih voda na slivu rijeke Vuke

U sljedećim tablicama prikazan je postojeći način korištenja zemljišta na potencijalnim područjima te procijenjeni broj stanovnika i kućanstava.

Tablica 1. Postojeći način korištenja na potencijalnim područjima za tečenje i prihvata velikih voda

Kategorija	VGO za Muru i gornju Dravu	VGO za Dunav i donju Dravu	VGO za gornju Savu	VGO za srednju i donju Savu	VGO za slivove sjevernog Jadrana	VGO za slivove južnog Jadrana	Republika Hrvatska
Ukupno poplavnih područja (km ²)	877,6	1.992,6	778,5	5.710	195,5	535,3	10.089,5
Naselja, industrija, infrastruktura	3,6 %	0,8 %	17,8 %	2,8 %	3,9 %	2,7 %	3,7 %
Poljoprivreda	50,8 %	45,6 %	53,5 %	45,0 %	56,3 %	45,8 %	46,6 %
Šume	27,3 %	35,0 %	14,8 %	39,5 %	23,8 %	40,1 %	35,3 %
Livade	8,4 %	4,0 %	11,0 %	8,3 %	9,4 %	7,3 %	7,6 %
Močvare	1,1 %	7,0 %	0,3 %	0,4 %	0,3 %	0,4 %	1,8 %
Vodne površine	8,7 %	7,5 %	2,6 %	4,0 %	6,3 %	3,7 %	5,0 %

Tablica 2. Procijenjeni broj stanovnika i kućanstava na potencijalnim područjima za tečenje i prihvat velikih voda

Kategorija	VGO za Muru i gornju Dravu	VGO za Dunav i donju Dravu	VGO za gornju Savu	VGO za srednju i donju Savu	VGO za slivove sjevernog Jadrana	VGO za slivove južnog Jadrana	Republika Hrvatska
Stanovništvo	60.000	30.000	370.000	230.000	15.000	50.000	755.000
Kućanstva	20.000	11.000	140.000	80.000	6.000	15.000	272.000

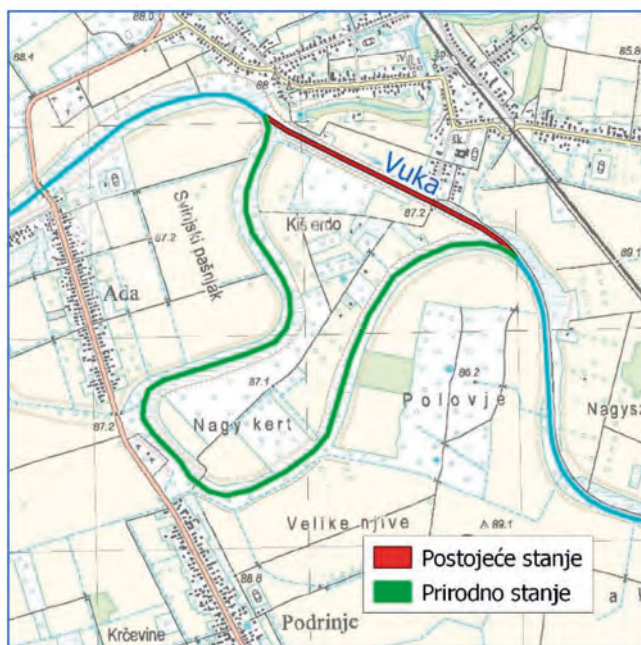
Rezultati pokazuju značajnu izmijenjenost u odnosu na prirodno stanje, kao rezultat izgradnje sustava obrane od poplava. Primjerice, na području sliva gornje Save, izgradnja sustava obrane od poplava omogućila je da se preko 70 % prirodnog poplavnog područja u postojećem stanju koristi za urbanizaciju (370.000 stanovnika), odnosno poljoprivredu (56,3 % površina). Najveći udio močvarnih staništa (7 %) je na području donje Drave i Dunava (Kopački rit).

2.3 Područja na kojima je provedeno prosijecanje meandara i izgradnja umjetnih korita vodotoka

U sklopu predmetne aktivnosti identificirana su:

- Sva bitnija prosijecanja meandra,
- Umjetna i modificirana korita vodotoka:
 - Umjetni kanali (primjerice dravske HE, oteretni kanal Odra i slično),
 - Reguliranje postojećih vodotoka na kojima je došlo do narušavanja prirodnih korita.

Za svaku dionicu vodotoka koja se obrađuje, prirodno i postojeće (modificirano) stanje su prikazani kao vektorski sloj, u *shape* datoteci, kao poligon (za vodno tijelo, obje linije obale od početka do kraja dionice) odnosno polilinija (po osi vodotoka). Ukupno je definirano 124 područja. Za svako područje u pripadnoj atributnoj tablici vektorskog sloja definirani su: naziv vodotoka, lokacija, morfološka promjena (npr. prokop, presijecanje meandra i slično), dužina (u prirodnom i postojećem stanju) te skraćenje (dužinski i postotno). Na donjoj slici dan je primjer meandra Laslovo, rijeka Vuka, usporedba prirodno - postojeće stanje (nakon izvedbe prokopa).



Slika 7. Primjer meandra Laslovo, usporedba prirodno - postojeće stanje (nakon izvedbe prokopa)

Vidljivo je da je izvedbom prokopa došlo do značajnog skraćenja toka Vuke na predmetnom području. U prirodnom stanju dionica je duga 4.508 m, prokop je dug 1.367 m, čime je došlo do skraćenja od 3.141 m odnosno 70 % od prirodne duljine.

ZAKLJUČAK

Ova studija predstavlja cjelovit i sustavni pregled prirodnih poplavnih područja na razini cijele Republike Hrvatske. Kao takva, može biti dobra osnova za buduće projekte revitalizacije odnosno renaturalizacije prirodnih poplavnih područja, što je u skladu s programskom orijentacijom Europske unije u pogledu politika zaštite okoliša. Također, u ovoj studiji sistematizirani su podaci o izgrađenosti sustava obrane od poplava (nasipi, retencije, akumulacije, tuneli i slično) te je dana kvantitativna procjena onoga što se štiti - stanovništva, kućanstava, vrijednih poljoprivrednih površina i slično.

LITERATURA

- [1] Christiansen T. i drugi (2019), *Floodplains: a natural system to preserve and restore*, European Environment Agency, Copenhagen
<https://www.eea.europa.eu/publications/floodplains-a-natural-system-to-preserve-and-restore> (pristupljeno 19.03.2021.)
- [2] Dige G. i drugi, (2017), *Green Infrastructure and Flood Management Promoting cost - efficient flood risk reduction via green infrastructure solutions*, European Environment Agency, Copenhagen
<https://www.eea.europa.eu/publications/green-infrastructure-and-flood-management> (pristupljeno 19.03.2021.)
- [3] Entwistle, N.S., (2018), *Recent changes to floodplain character and functionality in England*, Catena, 2019 - Vol 174, str. 490-498
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816218305058?via%3Dihub>(pristupljeno 26.03.2021.)
- [4] Fernandez D. i drugi, (2012): *Quantifying the performance of automated GIS-based geomorphological approaches for riparian zone delineation using digital elevation models*, Hydrol. Earth Syst. Sci., 2012-16, str. 3.851-3.862
<https://hess.copernicus.org/articles/16/3851/2012/hess-16-3851-2012.pdf> (pristupljeno 23.03.2021.)
- [5] Globevnik, L. i drugi, (2020), *Preliminary assessment of river floodplain condition in Europe*, European Topic Centre on Inland, Coastal and Marine waters, Magdeburg
<https://www.eionet.europa.eu/etc/etc-icm/products/preliminary-assessment-of-river-floodplain-condition-in-europe> (pristupljeno 19.03.2021.)
- [6] Guerrero P. i drugi (2018): *Locating Spatial Opportunities for Nature - Based solutions: A River Landscape Application*, Water, 2018-10(12), str. 1869
<https://www.mdpi.com/2073-4441/10/12/1869/htm> (pristupljeno 19.03.2021.)
- [7] Günther-Diringer, D., Weller, P., (1999), *Danube Pollution Reduction Programme, Evaluation of wetlands and floodplain areas in the Danube river basin*, WWF Danube – Carpathian - Programme i WWF Auen Institut, Rastatt
<https://www.icpdr.org/main/sites/default/files/EVALUATIONWETLANDS-FLOODPLAINAREAS.pdf> (pristupljeno 19.03.2021.)

- [8] Jakubinski J. i drugi, (2019): *A comparison of four approaches to river landscape delineation: The case of small watercourses in the Czech Republic*, Moravian geographical reports, 2019-27(4), str. 229-240.
https://www.researchgate.net/publication/338767638_A_comparison_of_four_approaches_to_river_landscape_delineation_The_case_of_small_watercourses_in_the_Czech_Republic (pristupljeno 23.03.2021.)
- [9] Koenzen, U. i drugi, (2009), *Auenzustandsbericht Flussauen in Deutschland*, Ministerstvo okolišta, zaštite prirode i sigurnosti reaktora Savezne Republike Njemačke, Berlin
<https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/wasser/Dokumente/Auenzustandsbericht.pdf> (pristupljeno 19.03.2021.)

AUTORI

Želimir Marojević^a, mag. ing. aedif.

Diana Šustić^a, dipl. ing. građ.

^a Hidroing d.o.o., Ul. Tadije Smičiklase 1, 31000 Osijek, Hrvatska,
zelimir.marojevic@hidroing-os.hr, diana.sustic@gmail.com



R 2.03.

STANJE I RAZVOJNI PROJEKTI ZAŠTITE OD ŠTETNOG DJELOVANJA VODA U VGO ZA GORNJU SAVU

Sanja Filipan, Tomislav Suton

SAŽETAK: Na području Vodnogospodarskog odjela za gornju Savu izgrađeni su ili su u izgradnji brojni objekti zaštite od štetnog djelovanja voda koji su pripali NPOO sufinanciranju, a što je značajno ubrzalo njihovu realizaciju budući da se planiranih sredstava sufinanciranjem osigurava vrijednost veća od polovine prosječnih godišnjih planirana sredstva za ove objekte. U radu će se predstaviti realizirani projekti s genezom uvjeta spram okoliša i prirode budući da su se oni pokazali ključnim za realizaciju te su tijekom pripreme morali biti višestruko provjeravani i zadovoljeni, uz osvrt na polazna načela.

KLJUČNE RIJEČI: Zaštita od poplava, Zaštita prirode i okoliša, NPOO

STATUS AND DEVELOPMENT OF PROJECTS FOR PROTECTION FROM ADVERSE EFFECTS OF WATER IN THE AREA OF THE WMD FOR THE UPPER SAVA RIVER

ABSTRACT: In the area of the Water Management Department for the Upper Sava River, numerous facilities for protection from adverse effects of water will now be cofinanced under the NRPP. This will significantly accelerate their implementation, since the planned cofinancing has a value higher by a half of average annual funds planned for these facilities. The paper will present the implemented projects, with an emphasis on nature and environmental conditions that proved to be of key importance for the implementation of the projects and had to be multiply checked and fulfilled during the project preparation.

KEYWORDS: Flood protection, Nature and environment protection, NRPP

1. UVOD

Na području Vodnogospodarskog odjela za gornju Savu (VGO GS) izgrađeni su ili su u izgradnji brojni objekti zaštite od štetnog djelovanja voda, a koji su prepoznati agendom Nacionalnog plana otpornosti i oporavka (NPOO). U kontekstu ponude i zahtjeva NGEU financiranja (Next Generation EU- Recovery and Resilience Facility, privremeni instrument za poticanje oporavka) prijavljen je hrvatski NPOO unutar kojeg je pod C1.3. R1-I3 usvojen Program smanjenja rizika od katastrofa u sektoru upravljanja vodama. S ciljem smanjenja negativnih posljedica klimatskih promjena te time smanjenjem rizika od po-

plava na području VGO GS u prijavu su uključeni, prihvaćeni i u provedbi su sljedeći projekti: Izgradnja retencije Lipovečka Gradna, Uređenje bujice Goštiraj u Sv. Nedelji, Izgradnja Transverzalnog nasipa, Izgradnja retencije Vir Vrbovec, izgradnja sifona Kosača, izgradnja sifona Poljanski Lug, sanacija oštećenja u koritu rijeke Lonje kod mjesta Negovec. Rekonstrukcija nasipa Drnek Suša 2. i 3. faza je u tijeku prijave.

2. STANJE I RAZVOJNI PROJEKTI

U okviru pet godina sufinanciranja (2021. - 2026.), potrebno je projekte iz ove domene, a koji odgovaraju stupnjem pripreme i mogućeg završetka izgradnje privesti prijavi i provedbi uz EU sufinanciranje. Na području VGO GS prepoznati su i prijavljeni navedeni projekti ukupne vrijednosti 15,23 milijuna eura (s PDV) pri čemu je za sufinanciranje predviđeno oko 12,2 milijuna eura odnosno oko 80 % ukupnih troškova. U okviru promatranih pet godina iznos planiranog sufinanciranja čini 56 % prosječnih godišnjih planskih sredstava Hrvatskih voda za VGO GS namijenjenih za izgradnju objekata zaštite od štetnog djelovanja voda, dok svedeno na nazivnik prosječno dvije godine predviđene za provedbu projekata ovaj iznos čini oko 140 % godišnjih planskih sredstava. Ovi pokazatelji dvostruko su veći ukoliko se nizu pridoda i Rekonstrukcija nasipa Drnek Suša 2. i 3. faza koja je u tijeku prijave s procijenjenom vrijednosti 11,23 milijuna eura (bez PDV).

Priprema projekata zaštite od štetnog djelovanja voda (ZŠDV) zauzela je širok vremenski pojas od dvanaest do pet godina dok sama izgradnja traje dvije godine, izuzev Lonja Negovec u trajanju jedne te Goštiraj tri godine. U tablici 1.1. prikazani su projekti ZŠDV VGO GS sufinancirani iz NPOO s ključnim realiziranim dokumentima i ključnim vremenskim točkama.

2.1. Projekti zaštite od štetnog djelovanja voda i provedeni postupci zaštite okoliša i prirode

Priprema projekata zaštite od štetnog djelovanja voda (ZŠDV) tijekom dugog vremenskog perioda potrebnog za realizaciju prolazi kroz sve gušće filtere prostornih uvjeta svih dionika u prostoru, a posebice okolišnih i ekoloških uvjeta i trendova promišljanja zelenih akcija što u širokom vremenskom rasponu pripreme anticipaciju tzv. zelenih mjera tijekom projektiranja čini teško dosegljivom ukoliko je ista prostornim zadatostima moguća.

Svi navedeni objekti i zahvati proizašli su iz (a) razvojnih strategija Hrvatskih voda i sagledani su svim strateškim dokumentima i strateškim procjenama utjecaja na okoliš kao i u prostorno - planskim dokumentima više i niže razine. Tijekom razrade istih uklaпанje u prostorne zahtjeve ponavlja se još dva puta kroz (b1) postupke ocjene o potrebi procjene utjecaja na okoliš kao i kroz (b2) ishodaenje lokacijskih uvjeta, pri čemu se kroz prve često dovodi u pitanje opravdanost izgradnje spram aspekata prirode. Naposljetku zahvati trebaju biti sagledani i kroz prizmu programskih uvjeta sufinanciranja od EU (c1) te prizme zelenih politika (c2) koje u sklopu prijavnica trebaju provjeriti, obrazložiti i/ili dodati zelene mjere.

Hrvatski NPOO u dijelu C1.3. R1-I3 prepoznaje i naglašava usklađenost prijavljenih projekata sa svim vodnim i okolišnim politikama temeljenim na EU praksama. Predloženi projekti uključeni su u Plan upravljanja vodnim područjima do 2027. koji je novela Plana

upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. i u Višegodišnji program gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije do 2030. godine. slijedom važećeg donesenoga za razdoblje 2013. - 2023. kao program građevinskih mjera. Za aktualne dokumente provodi se postupak strateške procjene utjecaja na okoliš dok su za dokumente prethodnog razdoblja iste provedene.

Za sve planirane projekte provedeni su postupci ocjene o potrebi procjene utjecaja na okoliš (i prirodu), a za retenciju Lipovečka Gradna i procjena utjecaja na okoliš prema zakonskim okvirima važećim tijekom njihove pripreme te su izdata rješenja s mjerama koje su uključene u glavne projekte planiranih zahvata. Usklađenost glavnih projekata s propisanim mjerama utvrđena je u postupcima izdavanja građevinskih dozvola, odnosno izdane su potvrde o usklađenosti glavnih projekata sa zahtjevima zaštite okoliša i prirode. Dodatno, tijekom prijave za NPOO usvaja se zahtjev da se potvrdi i / ili provede analiza usklađenosti sagledanih utjecaja i / ili utvrđenih mjera ublažavanja za zahvate u odnosu na doradene ciljeve očuvanja područja ekološke mreže Natura 2000 ukoliko su građevinske dozvole izdane prije 4. prosinca 2020. godine zbog čega su projekti prijavljeni u 2022. godini morali proći kroz ponovni postupak ocjene o potrebi procjene utjecaja na okoliš. Nadalje, iako su nedvojbeno utvrđeni ciljevi i opravdanost ovih projekta spram smanjenja rizika od poplava te su višekratno zadovoljili uvijete okoliša i prirode provjeravano kroz zakonske prizme od strateške razine do razine projekta i kroz cjelokupni period pripreme i realizacije, na razini prijavnog postupka iznova se postavljaju zahtjevi za potvrđivanjem ispunjavanja okolišnih uvjeta kroz DNSH načelo - ne nanosi bitnu štetu.

Tablica 1.1. Projekti ZŠDV-a VGO za GS sufinancirani iz NPOO s ključnim realiziranim dokumentima i ključnim vremenskim točkama

Naziv projekta	a)Idejni projekt-početak izrade b) Lokacijska dozvola - g. ishodenja	a)Elaborat zaštite okoliša (EZO) b)Godina ishodenog rješenja na EZO	a)Glavni projekt-početak izrade b)Građevinska dozvola- g. ishodenja	Naputak: GD izdana prije i poslije 4.12.2020.- ponovljeni EZO ili analiza usklađenosti *	a)Ukupni troškovi b)Traženi iznos sufinanciranja (€)
Retencija Lipovečka Gradna	a)2007.g. b)2009.g.	a)Studija utjecaja na okoliš b) 2004.g.	a) 2018.g. b) 2019.g.	EZO, Rješenje 2023.g.	a)3.165.723,12 b)2.532.578,49
Uređenje bujice Goštiraj	a)2010.g. b)2013.g.; 2015.g.	Nije bilo potrebno	a)2017.g. b)2018.g.; 2021.g.	EZO, Rješenje 2022.g.	a)2.330.578,11 b)1.864.462,49
Izgradnja Transverzalnog nasipa	a)2013.g. b)2016.g.; 2018.g.	a)Ocjena o potrebi procjene utjecaja na okoliš uključivo prethodna ocjena za EM b) 2015.g.	a)2017.g. b)2020.g.	SUO +GO 2019.g., za Sustav zaštite od poplava karlovačko-sisačko područje II.faza, Rješenje 2020.g.	a)6.012.363.21 b)4.809890.56
Izgradnja retencija Vir Vrbovec	a)2015.g. b)2016.g.; 2018.g.	EZO Rješenje 2015.g.	a)2017.g. b)2019.g.	Nije bilo potrebno (prijava prije 4.12.2020.g.)	a)1.149.849,56 b) 919.879.64
Izgradnja sifona Poljanski Lug	a)2016.g. b) Nije bilo potrebno	Mišljenje 2020.g-nije potrebna OPPUO	a)2016.g. b)2020.g.	EZO, Rješenje 2022.g.	a) 900.749,93 b) 720.599,94
Izgradnja sifona Kosača	a) 2015.g. b) Nije bilo potrebno	Mišljenje 2017.g-nije potrebna OPPUO	a)2016.g. b)2018.g.	EZO, Rješenje 2022.g.	a) 408.124,22 b) 326.499,38
Lonja Negovec - sanacija oštećenja u koritu	a)2016.g. b)2017.g.	EZO, rješenje 2017.g.	a)2018 g. b)2021.g.	Analiza usklađenosti, Rješenje 2022.g.	a)1.268.995,95 b)1.015.196,76

- Analiza usklađenosti sagledanih utjecaja i/ili utvrđenih mjera ublažavanja za zahvate u odnosu na dorađene ciljeve očuvanja područja ekološke mreže Natura 2000

2.2. Polazišta

Polazište svih uvjeta spram okoliša je Zakon o zaštiti okoliša (Narodne novine, br. 80/13, 153/13, 78/15, 12/18 i 118/18) čija je premisa koncept održivog razvoja i koji kao prvi cilj u nizu ciljeva zaštita navodi „zaštita života i zdravlje ljudi“. Potom slijede “biljni, životinjski svijet...“, zatim zaštita „sastavnice okoliša, među kojima se prepoznaje zaštita voda te slijede ostali navedeni ciljevi. Zaštita voda unutar sastavnice okoliša vode

zbog djelovanja čovjeka u prostoru koje dovode do posljedica poznatih kao rizici od poplava, nije prepoznata dok je s uočenim klimatskim ekstremima pojavno neupitna, pri čemu ostaje prvi Zakonski zahtjev *zaštita života i zdravlja ljudi* te ga kao takvog treba ispunjavati.

Problematika zbog neizravno postavljenog zahtjeva za *sastavnicu zaštita voda* je posebice naglašena kod prostornog planiranja gdje brojne izrade izmjena i dopuna prostornih planova kao i razvojnih strategija županija, jedinica lokalnih samouprava, prometa, gospodarstva i drugog anticipiraju urbanizaciju i izgradnju (industrijskih zona, prometnih koridora i drugog), gravitirano k jačim urbanim centrima, isključivo poželjnom kategorijom kroz neizostavne SWOT analize kao razvojnu snagu i mogućnost (iskoristiti prostorne datosti) pri čemu se ne uočava štetnost istih na račun prostora koji se oduzima vodi, a što za posljedicu ima povećanje rizika od štetnog djelovanja voda na prostor i na čovjeka jer je povećana ili stvorena ranjivost i vrijednost koje inicijalno nije bilo. Istovremeno čovjekova aktivnost značajno odmiče od depopuliziranih ruralnih prostora koji se zbog toga mijenjaju u novo stanje koje se percipira izvornim.

Odgovor na cilj zaštite ljudi i zdravlja može biti dvojak: rizik se umanjuje, izgradnjom objekata ZŠDV-a ili financijskim instrumentom osiguranja, ili se ne čini ništa. U praksi se pokazuje da se percepcija oduzimanja prostora i štetnih posljedica seli na sustave ZŠDV-a koji gledani na taj način trebaju dati isključivo zelene odgovore. Sustavi ZŠDV-a u suštini jesu na strani zaštite jer predstavljaju odgovor na štetno djelovanje voda, unutar mogućih fizikalnih zakonitosti i prostornih datosti i uz ograničen mogući spektar dodatnih zelenih intervencija.

Ovaj uočeno kružni problem može se izbjeći samo smanjenom izgradnjom u prostoru te smanjenjem čovjekove aktivnosti u njemu. Valja naglasiti da objekti i zahtvi ZŠDV dolaze post festum, a ne a priori razvojnih strategija ili nereguliranog razvoja prostora.

Mjeru u kojoj se oduzima prostor vodi presijecanjem vodotoka, povećanjem koeficijentata otjecanja te koncentracijom vodenih tokova potrebno je promatrati kao pritisak u odnosu na ciljeve zaštite a priori života i zdravlja ljudi te prihvatiti jedan od dva moguća odgovora. Ukoliko je odgovor na smanjenje rizika izgradnja objekata u sastavu sustava ZŠDV potrebno je prvenstveno zadovoljiti mehaničku otpornost i stabilnost koju objekti moraju posjedovati te potom ostale uvjete. U prostoru gustih uvjeta koji proizlaze iz zahtjeva za učinkovitom operativnošću mnogobrojnih dionika u prostoru te okolišnih i ekoloških uvjeta koji se postavljaju spram ovih objekata, smanjuje se opseg zelenih mogućnosti dok one istovremeno postaju izražen zahtjev pri financiranju od strane zelenih politika.

Vezano na opetovano postavljanje uvjeta spram Natura 2000 kroz ponovne ocjene o procjeni utjecaja na okoliš (prirodu) ili kroz analize usklađenosti sagledanih utjecaja i/ili utvrđenih mjera ublažavanja za zahvate, a sve u odnosu na doručene ciljeve očuvanja područja ekološke mreže (EM), uočava se da se jedino retencija Lipovečka Gradna nalazi u EM HR2000586 Žumberak Samoborsko gorje te Transverzalni nasip jednim dijelom u HR2000415- Odransko polje, a za koja je u opisu područja EM ([Bioportal](#)) pod kategorijom *Opasnosti, pritisci i aktivnosti koji utječu na područje EM* za oba područja navedena negativna ocjena uz visoki rizik od napuštanja prostora te napuštanje pašnjačkih sustava, nedostatak ispaše te iseljavanje. Ovi prostori nisu ugroženi od čovjeka, već se negativne promjene na EM očekuju od napuštanja ruralnih prostora i njegovog održavanja.

ZAKLJUČAK

U razvoju projekata ZŠDV nailazi se na sukcesivan niz provjera i dokazivanja njihove opravdanosti spram prirode i okoliša. Uz stalno povećanje zahtjeva gubi se iz fokusa da ovi projekti dolaze kao u najvećoj mjeri moguć zeleni odgovor na zatečeno stanje promjena u prostoru izazvanih razvojem. U primjeru projekta VGO GS pokazala se uspješnost zbog istrajnog angažmana na zadovoljavanju svih postavljenih zahtjeva. U slučaju da se neki od zahtjeva nije mogao dokazati ili naknadno uklopiti u prizmu zelenih politika, društvena korist bi bila umanjena za značajna financijska sredstva i ne bi se postiglo smanjenje rizika od poplava, odnosno propustio bi se odgovor na prvi Zakonom postavljeni cilj, zahtjev zaštite okoliša, zaštita života i zdravlje ljudi, a u primjerima projekata VGO GS gdje se oni nalaze u ekološkoj mreži, negativan utjecaj na Natura 2000 očekuje se upravo od iseljavanja prostora.

LITERATURA

- [1] Nacionalni plan otpornosti i oporavka 2021. - 2026., Vlada Republike Hrvatske, srpanj 2021.g., Zagreb, [Plan oporavka i otpornosti, srpanj 2021..pdf \(gov.hr\)](#) (20.08.2023.)
- [2] Društveni aspekti poplava, Centar Građevinskog fakulteta d.o.o., HidroKonzalt projektiranje d.o.o., srpanj 2021.g., [drustveni_aspekti_poplava.pdf](#) (5.08.2023.)
- [3] Nacrt Višegodišnjeg programa gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije za razdoblje do 2030. Godine, Hrvatske vode, listopad 2022., Zagreb, [NACRT VIŠEGODIŠNJEG PROGRAMA GRADNJE REGULACIJSKIH I ZAŠTITNIH VODNIH GRAĐEVINA I GRAĐEVINA ZA MELIORACIJE - LISTOPAD 2022_ .pdf \(voda.hr\)](#) (29.7.2023.)
- [4] „Standardni obrazac Natura 2000”, Oznaka područja HR2000586 i HR2000415, [Ekološka mreža \(bioportal.hr\)](#) (25.07.2023.)
- [5] Smjernice za tehničko projektiranje i procjenu socioekonomske izvedivosti mjera zelene infrastrukture u smanjenju rizika od poplava, Vita Projekt d.o.o., prosinac 2022., Zagreb, [Smjernice za tehničko projektiranje i procjenu socioekonomske izvedivosti mjera zelene infrastrukture_20221216.pdf \(voda.hr\)](#) (25.07.2023.)

AUTORI

Sanja Filipan, mag. ing. aedif. ^a

Tomislav Suton, mag. ing. aedif. ^a

^a Hrvatske vode, Vodnogospodarski odjel za gornju Savu, Ulica grada Vukovara 271, Zagreb, 10000, Hrvatska, sanja.filipan@voda.hr, tomlslav.suton@voda.hr



R 2.04.

SANACIJA ŠTETA OD POTRESA NA VODNIM GRAĐEVINAMA NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA, ZAGREBAČKE ŽUPANIJE I KRAPINSKO - ZAGORSKE ŽUPANIJE NASTALIH NAKON ZAGREBAČKOG POTRESA

**Ines Ožanić, Tihana Cigetić, Tomislav Suton,
Goran Milaković, Tomislav Gazić**

SAŽETAK: Dana 22. ožujka 2020. Zagreb i šire zagrebačko područje u jutarnjim satima pogodio je snažan potres magnitude $M = 5,5$ prema Richteru, nakon četrdesetak minuta dogodio se i drugi potres magnitude $M = 4,9$. Epicentar potresa bio je na području Medvednice.

Kratkotrajne deformacije tla nastale nakon potresa mogu smanjiti stabilnost i trajnost vodnih građevina. Sva oštećenja možda nisu bila evidentirana u prvom pregledu nakon potresa, ali su se ona uočila nakon naknadnih deformacija tla te prvih kišnih epizoda i velikih voda.

Sanacija oštećenja provodila se kroz usluge preventivne, redovne i izvanredne obrane od poplava i leda tijekom 2020., 2021., 2022. i 2023. godine.

Obrana od poplava provodi se na teritorijalnim jedinicama za obranu od poplava - vodnim područjima, sektorima, branjenim područjima i dionicama. Zagrebačko područje pripada sektoru „C“ obrane od poplava, a podijeljeno je na 4 branjena područja.

Kroz Fond solidarnosti ukupno je bilo osigurano 54.884.450,00 kuna odnosno 7.284.418,34 eura bespovratnih sredstava za Osiguranje preventivne infrastrukture oštećene potresom od 22. ožujka 2020. na području Grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko - zagorske županije. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja raspisalo je poziv i izmjenu poziva na dostavu projektnih prijedloga. Sklopljena su dva ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava, a ukupno je povučeno 7.235.120,17 eura i ukupno je sanirano 40 oštećenja na lokacijama sektora C obrane od poplava.

KLJUČNE RIJEČI: Potres, Fond solidarnosti, Bespovratna sredstva, Branjena područja, Sanacija

REHABILITATION OF EARTHQUAKE DAMAGE ON WATER FACILITIES IN THE AREAS OF THE CITY OF ZAGREB, ZAGREB COUNTY AND KRAPINA - ZAGORJE COUNTY THAT OCCURED AFTER THE ZAGREB EARTHQUAKE

ABSTRACT: In the morning hours of March 22, 2020, Zagreb and its greater area were hit by a strong earthquake of a magnitude $M = 5.5$ on the Richter scale, followed about 40 minutes later by the second earthquake of a magnitude $M = 4.9$. The epicentre of the earthquake was in the Mt. Medvednica area.

Short - term soil deformation occurring after an earthquake may reduce the stability and durability of water facilities. All damage was possibly not recorded during the first inspection after the earthquake, but it was evident after subsequent soil deformation and the first rain and high water episodes.

The rehabilitation of damage was performed through services of preventive, regular and emergency flood and ice defence in 2020, 2021, 2022 and 2023.

Flood defence is performed in territorial flood defence units - river basin districts, sectors, defended areas and sections. The Zagreb area belongs to the C sector of flood defence and is divided into 4 defended areas.

Under the Solidarity Fund, a grant in the total amount of kuna 54,884,450.00 (euro 7,284,418.34) was obtained for securing preventive infrastructure damaged by the earthquake of March 22, 2020 in the areas of the City of Zagreb, Zagreb County and Krapina - Zagorje County. The Ministry of Economy and Sustainable Development announced a call for proposals and an amendment to the call for a submission of project proposals. Two grant contracts were awarded, with a total amount of withdrawn funds equalling euro 7,235,120.17. The total number of 40 damages were rehabilitated at the locations in the C sector of flood defence.

KEYWORDS: Earthquake, Solidarity Fund, Grant, Defended area, Rehabilitation

1. UVOD

Dana 22. ožujka 2020. Zagreb i šire zagrebačko područje u jutarnjim satima pogodio je snažan potres magnitude $M = 5,5$ prema Richteru, procijenjenoga intenziteta u epicentru VII. - VIII. stupnja Mercalli - Cancani - Sieberg (MCS) ljestvice. Nakon četrdesetak minuta dogodio se i drugi potres magnitude $M = 4,9$. Epicentar potresa bio je na području Medvednice. Potres je aktivirao pomak na Markuševčekom rasjedu, a snažno se osjetio i na području Krapinsko - zagorske i Zagrebačke županije. Najjača oštećenja pretrpjeli su dijelovi grada koji su bili najbliži epicentru potresa, kao i centar grada. Glavni rukovoditelj obrane od poplava mr.sc. Zoran Đuroković, dipl.ing.građ. izdao je nalog za hitnu vizualnu kontrolu svih savskih nasipa, retencija, akumulacija, ustava i preljeva na području grada Zagreba i Zagrebačke županije isti dan nakon potresa. Pregledom je utvrđeno da je stanje vodnih građevina dobro te nema opasnosti od otkazivanja funkcije. Nakon hitnih vizualnih kontrola radi dodatne sigurnosti provedena su geofizička ispitivanja u suradnji sa Zavodom za geotehniku Građevinskog fakulteta u Zagrebu, a koristila se metoda radarom.

28. prosinca 2020. u 6 sati i 28 minuta dogodio se jak potres magnitude $M = 5.0$ s epicentrom kod Petrinje, a naredni dan 29. prosinca 2020. u 12 sati i 19 minuta područje oko Petrinje pogodio je razoran potres magnitude $M = 6.2$ intenziteta u epicentru VIII stupnjeva EMS ljestvice. Potres se osjetio u cijeloj Hrvatskoj i susjednim državama, Austriji, Češkoj, južnim dijelovima Njemačke i Poljske te u dijelovima Rumunjske, Bugarske i Albanije. Potres u Petrinji dodatno je utjecao na oštećenja na vodnim građevina na području grada Zagreba, Krapinsko - zagorske i Zagrebačke županije koji su nastali kao posljedica potresa u Zagrebu 22. ožujka 2020.

2. SANACIJA ŠTETA OD POTRESA

2.1. Obrana od poplava

Obrana od poplava provodi se na teritorijalnim jedinicama za obranu od poplava - vodnim područjima, sektorima, branjenim područjima i dionicama. Republika Hrvatska je na taj način podijeljena na 2 vodna područja, 6 sektora i 34 branjena područja. Granice vodnih područja, sektora i branjenih područja određene su Zakonom o vodama, dok se broj i oznaka pojedine dionice utvrđuje Glavnim provedbenim planom obrane od poplava, prikaz sektora i granica branjenih područja na području Republike Hrvatske nalazi se na Slici 1.



Slika 1. Kartografski prikaz sektora i granica branjenih područja na području Republike Hrvatske (www.voda.hr)

Zagrebačko područje pripada sektoru „C“ obrane od poplava, a podijeljeno je na 4 branjena područja (Slika 2):

- branjeno područje 8 - područje maloga sliva Zelina - Lonja i područje općine Rugvica,
- branjeno područje 12 - područje maloga sliva Krapina - Sutla i sjeverni dio područja maloga sliva "Zagrebačko prisavlje", što uključuje: Grad Zaprešić i općine Brdovec, Marija Gorica, Dubravica, Pušća, Luka, Jakovlje i Bistra,

- branjeno područje 13 - južni dio područja maloga sliva Zagrebačko prisavlje, što uključuje: Grad Veliku Goricu i općine Orle, Kravarsko i Pokupsko,
- branjeno područje 14 - središnji dio područja maloga sliva Zagrebačko prisavlje, što uključuje: gradove Zagreb, Samobor i Svetu Nedelju; te općinu Stupnik.

Na razini sektora provodi se koordinacija i operativno upravljanje obranom od poplava na svim branjenim područjima u granicama sektora.



Slika 2. Granica sektora C obrane od poplava i branjena područja
(izvor: www.voda.hr)

2.2. Oštećenja nastala na vodnim građevinama

Kratkotrajne deformacije tla nastale nakon potresa mogu smanjiti stabilnost i trajnost vodnih građevina. Uz hidrološko - hidrauličke utjecaje uočen je niz klizišta. Kako se na području obuhvaćenog potresom nalazi veliki broj objekata za zaštitu od štetnog djelovanja voda (nasipi, kanali, obaloutvrde, ustave) potrebna je procjena oštećenja na vodnim građevinama uslijed složenog djelovanja potresa i hidrološko-hidrauličkog djelovanja.

Na temelju rezultata procijene stupnja oštećenja (Tablica 1.) uz uvažavanje važnosti građevina u sustavu obrane od poplava dane su preporuke za provođenje sanacije kroz redovno ili pojačano održavanje ili kroz žurnu sanaciju. Sva oštećenja možda nisu bila evidentirana u prvom pregledu nakon potresa, ali su se ona uočila nakon naknadnih deformacija tla te prvih kišnih epizoda i velikih voda.

Sanacija oštećenja provodila se kroz usluge preventivne, redovne i izvanredne obrane od poplava i leda tijekom 2020., 2021., 2022. i 2023. godine.

Tablica 1. Rezultati procjene razine šteta na predmetnim lokacijama
(Stručna ekspertiza za sanacije manjih šteta na vodnim građevinama nastalih nakon Zagrebačkog potresa koje se provode kroz ugovore o uslugama preventivne, redovne i izvanredne obrane od poplava i leda, srpanj 2022.)

R.br.	BP	Lokacija (vodotok)	Klasa SEI	Klasa GEO	Klasa HID	Matica A	ID štete	Prioriteti sanacije i mjere
1	8	potok Lipnica 1	Sei1	Geo2	Hid2	2	2	kroz pojačano održavanje
2	8	potok Lovnica	Sei2	Geo1	Hid2	1	1	redovno održavanje
3	8	potok Nespeš	Sei2	Geo1	Hid2	1	1	redovno održavanje
4	8	Rijeka Zelina	Sei1	Geo3	Hid2	4	4	dodatni istražni radovi
5	8	Črnc	Sei1	Geo3	Hid2	4	4	dodatni istražni radovi
6	8	Okunščak	Sei2	Geo2	Hid2	2	2	kroz pojačano održavanje
7	12	Lučelnica	Sei2	Geo1	Hid2	1	1	redovno održavanje
8	12	Lučelnica	Sei2	Geo1	Hid2	1	1	redovno održavanje
9	12	Krapina - desna obala	Sei2	Geo1	Hid2	1	1	redovno održavanje
10	12	Krapinica - Velika Ves	Sei2	Geo2	Hid2	2	2	kroz pojačano održavanje
11	12	Krapinica - Dukovec	Sei2	Geo1	Hid2	1	1	redovno održavanje
12	13	OK ODRA - desni nasip 4. lokacije	Sei2	Geo2	Hid1	2	1	redovno održavanje
13	13	OK ODRA - lijevi nasip	Sei2	Geo2	Hid1	2	1	redovno održavanje
14	14	Kašina - naselje Paruževina	Sei3	Geo2	Hid2	2	2	kroz pojačano održavanje
15	14	Vuger - 1 lokacija u naselju Jelkovec	Sei2	Geo2	Hid2	2	2	kroz pojačano održavanje
16	14	Trnava - uz ulicu Markuševička Trnava	Sei3	Geo1	Hid2	1	1	redovno održavanje
17	14	Vuger - 2 lokacije u naselju Jelkovec	Sei2	Geo2	Hid2	2	2	kroz pojačano održavanje
18	14	Sava - obaloutvrda na l.o. Hendrixov most	Sei2	Geo2	Hid3	2	3	žurna sanacija
19	8	Spojini kanal Z-L-G-Č - desni nasip	Sei1	Geo2	Hid1	2	1	redovno održavanje
20	8	Rijeka Zelina - korito	Sei1	Geo2	Hid2	2	2	kroz pojačano održavanje
21	8	Rijeka Lonja - korito	Sei1	Geo2	Hid1	2	1	redovno održavanje
22	8	Spojini kanal Z-L-G-Č - desni nasip	Sei1	Geo2	Hid1	2	1	redovno održavanje
23	8	Spojini kanal Z-L-G-Č - desni nasip	Sei1	Geo2	Hid1	2	1	redovno održavanje
24	12	Krapina	Sei2	Geo1	Hid2	1	1	redovno održavanje
25	12	Horvatska	Sei2	Geo1	Hid2	1	1	redovno održavanje
26	14	Sava - obaloutvrda na l.o. Savska Opatovina	Sei2	Geo2	Hid3	2	3	žurna sanacija
27	14	Sava - obaloutvrda na l.o. Jadranski most	Sei2	Geo2	Hid3	2	3	žurna sanacija
28	14	Vrapčak - obloga	Sei2	Geo2	Hid2	2	2	kroz pojačano održavanje

2.3. Fond solidarnosti

Fond solidarnosti Europske unije (FSEU) omogućuje EU-u pružanje financijske podrške u slučaju prirodne katastrofe velikih razmjera u određenoj državi članici ili regiji te u državama koje pregovaraju o pristupanju. Fond solidarnosti glavni je instrument EU-a za potporu oporavku od prirodnih katastrofa i izraz je solidarnosti EU-a. Njime se EU-u omogućuje da nekoj državi članici EU-a (ili državi kandidatkinji) pruži učinkovitu potporu kako bi joj pomogao u suočavanju s posljedicama prirodnih katastrofa velikih razmjera, kao što su poplave, šumski požari, potresi, oluje ili suše. Fond solidarnosti osnovan je 2002. godine kao odgovor na velike poplave koje su pogodile srednju Europu u ljeto te godine. Otada je iz Fonda potpora pružena u više od 130 navrata.

Vlada Republike Hrvatske je na sjednici održanoj 12. studenoga 2020. donijela Odluku o načinu raspodjele bespovratnih financijskih sredstava iz Fonda solidarnosti Europske unije odobrenih za financiranje sanacije šteta od potresa na području Grada Zagreba, Krapin-

sko - zagorske županije i Zagrebačke županije, imenovanju i određivanju zaduženja nacionalnog koordinacijskog tijela, tijela odgovornih za provedbu financijskog doprinosa i neovisnog revizorskog tijela (Narodne novine, broj 125/20 i 79/22).

Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja (MINGOR) raspisalo je poziv za dodjelu bespovratnih financijskih sredstava - Osiguravanje preventivne infrastrukture oštećene potresom. Svrha Poziva je nadoknada sredstava operacijama u području zaštite od štetnog djelovanja voda za provedene hitne mjere sanacije, izradu dokumentacije za sanaciju, usluge utvrđivanja stanja, i sama sanacija regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina, oštećenih u potresu 22. ožujka 2020. godine, na području Grada Zagreba, Krapinsko - zagorske županije i Zagrebačke županije i njihovo dovođenje u prijašnje stanje.

Ukupan raspoloživ iznos bespovratnih financijskih sredstava za dodjelu u okviru ovog Poziva bio je 31.000.000,00 kuna, koji je osiguran u Državnom proračunu, iz Fonda solidarnosti Europske unije (FSEU), a postotak sufinanciranja iznosio je 100 %.

U studenom 2022. godine Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja objavilo je izmjenju Poziva na dodjelu bespovratnih financijskih sredstava - Osiguravanje preventivne infrastrukture oštećene potresom. Izmjenom je povećan iznos bespovratnih sredstava na ukupno 54.884.450,00 kuna, odnosno 7.284.418,34 eura. Rok za izvođenje / dovršenje svih radova bio je 30. lipanj 2023.

2.4. Provedba ugovora

Hrvatske vode na branjenim područjima imaju ugovorene usluge preventivne, redovne i izvanredne obrane od poplava i leda za razdoblje od 4 godine (okvirni sporazum). Na osnovu navedenih Okvirnih sporazuma zaključuju se ugovori o nabavi navedenih usluga za predmetnu godinu. Usluge koje izvršitelj izvodi sastoje se od košnje trave, vađenja nanosa u vodotocima, popravaka i sanacija nasipa i vodnih građevina, odnosno uspostavi funkcionalnog stanja nasipa i funkcionalnog stanja zaštite korita vodotoka od erozije uz osiguranje protočnosti. Oštećenja nastala na vodnim građevinama bila su takva da su se mogla sanirati kroz redovne ugovore, nije bilo potrebe za dodatnim ugovaranjem i provedbom javne nabave.

U rujnu 2022. podnesena je prva prijava za FSEU za Osiguranje preventivne infrastrukture oštećene potresom od 22. ožujka 2020. na području grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko-zagorske županije. Ugovor o dodjeli bespovratnih sredstava (FSEU.2022. MINGOR.05.001) sklopljen je 1. prosinca 2022. godine.

Ukupno je prijavljeno 27 lokacija za sanaciju na 4 branjena područja, kroz 3 godine, odnosno od 2020 do 2022. godine. Prijavljeni su retro izvršeni radovi kao i radovi u tijeku. Ukupno prijavljeni troškovi iznosili su 30.708.806,58 kuna (4.075.759,05 eura). Na Slici 3. prikazana je prijava troškova prema branjenim područjima.

Na branjenom području 8 - područje malog sliva Zelina - Lonja i područje općine Rugvica prijavljeno je 5 lokacija na kojim su radovi izvršeni 2020. i 2021. godine, te 5 lokacija na kojima su se radovi izvodili tijekom 2022. godine.

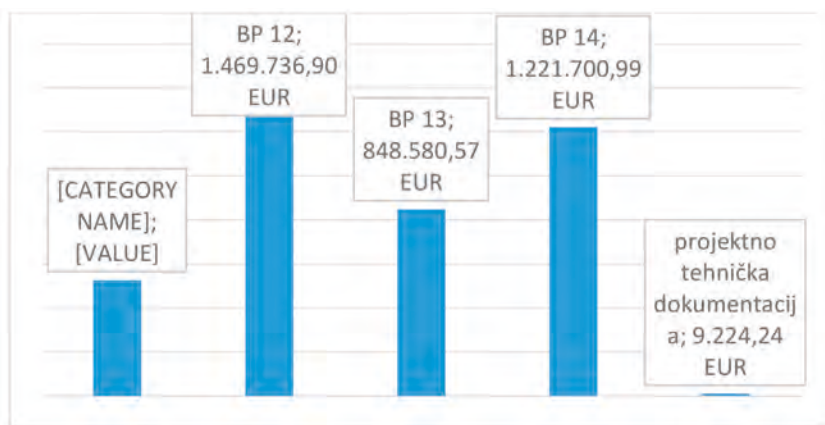
Na branjenom području 12 - područje malog sliva Krapina - Sutla i sjeverni dio područja malog sliva Zagrebačko prisavlje prijavljeno je 5 lokacija na kojim su radovi izvršeni 2020. i 2021. godine, te 2 lokacije na kojima su se radovi izvodili tijekom 2022. godine.

Na branjenom području 13 - južni dio područja malog sliva Zagrebačko prisavlje prijav-

Ijane su 2 lokacije na kojima su radovi izvršeni 2020. i 2021. godine.

Na branjenom području 14 - središnji dio područja maloga sliva Zagrebačko prisavlje prijavljeno je 5 lokacija na kojima su radovi izvršeni 2020. i 2021. godine, te 3 lokacije na kojima su se radovi izvodili tijekom 2022. godine.

Kroz ugovor o dodjeli bespovratnih sredstava prihvatljiva za financiranje bila je i projektno - tehnička dokumentacija koja je bila izrađena za dokazivanje štete nastale nakon potresa i kategorizaciju iste.



Slika 3. Grafički prikaz prijavljenih troškova po branjenim područjima za prvu prijavu (FSEU.2022.MINGOR.05001)

Na predmetnim lokacijama štete su bile od malih šteta do otkazivanja konstrukcije prema procjeni oštećenja (ID štete). Sanacija se izvršavala prioritarno. Provodili su se popravci kune, pokosa, bankina i prilaznih rampi nasipa, ojačanje tijela nasipa i / ili djelomično nadvišenje krune. Popravci postojeće regulacijske građevine bujičnoga toka: pragova, kaskada, stepenica sa slapištem, taložnica i drugih objekata u funkciji umirenja silovitoga režima tečenja. Na slikama 4. i 5. prikazane su dvije lokacije prije i nakon izvršene sanacije.



Slika 4. Branjeno područje 8 - lokacija: desni nasip spojnog kanal Z-L-G-Č - oštećenja (slijeganje tla)



Slika 5. Branjeno područje 12 - lokacija: Krapinica - Dukovec prije i nakon sanacije

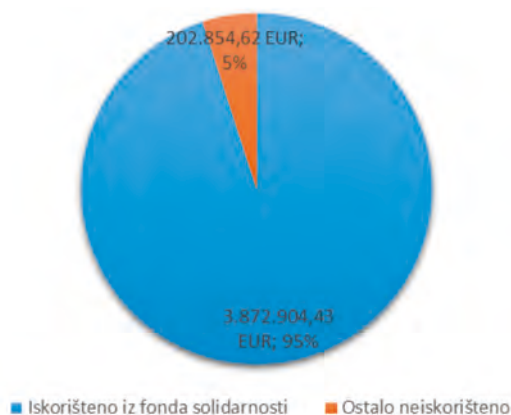


Slika 6. Branjeno područje 13 - lokacija: OK Odra - desni nasip prije i nakon sanacije



Slika 7. Branjeno područje 14 - lokacija: Vuger - prije i nakon sanacije

S obzirom da su se radovi izvodili kroz okvirne sporazume za razdoblje od 2019. do 2022. godine, svi radovi morali su biti završeni do 31. prosinca 2022. godine. Kroz Ugovor o dodjeli bespovratnih sredstava (FSEU.2022.MINGOR.05.001) podnesena su dva Zahtjeva za nadoknadom sredstava (ZNS) i ukupno je povučeno 29.180.398,43 kuna (3.872.904,43 eura) kroz prvu prijavu (Slika 8).



Slika 8. Grafički prikaz povlačenje sredstava i iskorištenost ugovora o dodjeli za prvu prijavu (FSEU.2022.MINGOR.05.001)

U studenom 2022. MINGOR je objavio izmjenu poziva i povećao iznos bespovratnih sredstava. S obzirom da su u tom periodu sklopljeni novi okvirni sporazumi za usluge preventivne, redovne i izvanredne obrane od poplava i leda za razdoblje od 4 godine (2023. - 2026.) napravljena je nova prijava, te se nije išlo u izmjenu prve prijave. Prijavljene su lokacije na kojima su naknadno uočena oštećenja odnosno ona nakon naknadnih deformacija tla te kišnih epizoda i velikih voda.

Iznos bespovratnih sredstava izmjenom Poziva iznosio je 54.884.450,00 kuna, odnosno 7.284.418,34 eura. Na raspolaganju je ostalo 25.704.051,57 kuna, odnosno 3.411.513,91 eura, Slika 9 prikazuje raspodjelu sredstava prema branjenim područjima.

U siječnju 2023. podnesena je druga prijava za FSEU za Osiguranje preventivne infrastrukture oštećene potresom od 22. ožujka 2020. na području Grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko - zagorske županije. Ugovor o dodjeli bespovratnih sredstava (FSEU.2022.MINGOR.05.002.) sklopljen je 9. ožujka 2023.

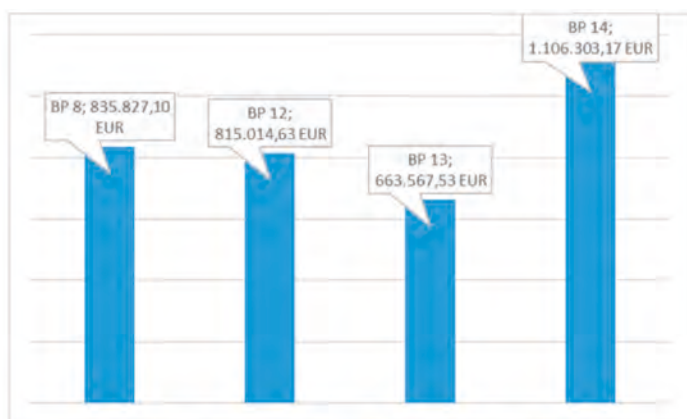
U drugoj prijavi prijavljeno je ukupno 13 lokacija na 4 branjena područja. Ukupno prijavljeni troškovi iznosili su 3.420.712,43 eura.

Na branjenom području 8 - područje malog sliva Zelina - Lonja i područje općine Rugvica prijavljeno je 6 lokacija.

Na branjenom području 12 - područje malog sliva Krapina - Sutla i sjeverni dio područja malog sliva Zagrebačko prisavlje prijavljene su 2 lokacije.

Na branjenom području 13 - južni dio područja malog sliva Zagrebačko prisavlje prijavljena je 1 lokacija.

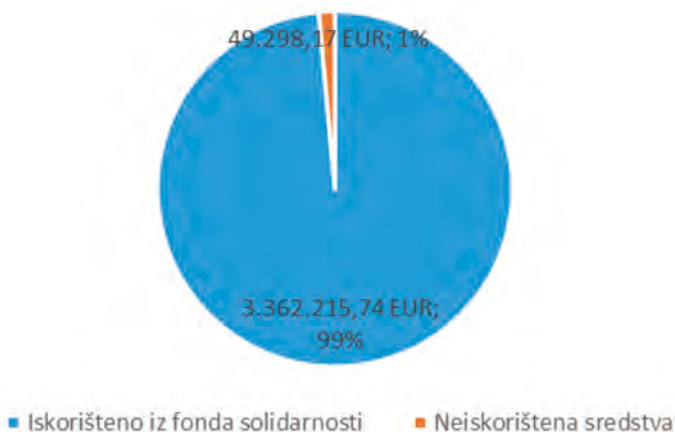
Na branjenom području 14 - središnji dio područja maloga sliva Zagrebačko prisavlje prijavljeno je 3 lokacije i jedna lokacija za radove koji su izvršeni u 2022. godini.



Slika 9. Grafički prikaz prijavljenih troškova po branjenim područjima za drugu prijavu 8FSEU.2022.MINGOR.05.002)

Na predmetnim lokacijama štete su bile od malih šteta do otkazivanja konstrukcije prema procjeni oštećenja (ID štete). Svi radovi koji su se provodili bili su na uspostavi funkcionalnog stanja zaštite korita vodotoka od erozije uz osiguranje protočnosti kao i funkcionalno stanje nasipa za vrijeme i nakon potresa.

Kroz Ugovor o dodjeli bespovratnih sredstava (FSEU.2022.MINGOR.05.002) podnesena su pet Zahtjeva za nadoknadom sredstava (ZNS) i ukupno je povučeno 3.362.215,74 eura (Slika 10).



Slika 10. Grafički prikaz povlačenja sredstava i iskorištenost ugovora o dodjeli za drugu prijavu (FSEU.2022.MINGOR.05.002)

Na realizaciji Fonda solidarnosti odnosno na provedbi oba ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava sudjelovali su djelatnici Hrvatskih voda prikazani u Tablici 2.

Tablica 2. Djelatnici Hrvatskih voda zaduženi za provedbu Fonda solidarnosti

OPERACIJE FINANCIRANE IZ FONDA SOLIDARNOSTI:		
FSEU.2022.MINGOR.05.001 - Osiguranje preventivne infrastrukture oštećene potresom od 22.ožujka 2020.godine na području grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko-zagorske županije		
FSEU.2022.MINGOR.05.002 - Osiguranje preventivne infrastrukture oštećene potresom od 22.ožujka 2020.godine na području grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko-zagorske županije – NOVA PRIJAVA		
Ime i prezime	Funkcija	Opis posla
Zoran Đuroković	Generalni direktor Hrvatskih voda	Odgovorna osoba Prijavitelja (Krajnjeg Korisnika operacija)
Davor Vukmirić	Zamjenik generalnog direktora Hrvatskih voda za vodno područje rijeke Dunav	Koordinacija provedbe operacija na razini direkcije Hrvatskih voda
Goran Milaković	Voditelj Sektora zaštite od štetnog djelovanja voda	Koordinacija pripreme operacija na razini direkcije Hrvatskih voda
Tomislav Suton	Direktor vodnogospodarskog odjela za gornju Savu	Koordinacija pripreme i provedbe operacija na razini vodnogospodarskog odjela

Ime i prezime	Funkcija	Opis posla
Ines Ožanić	Voditeljica operacija FSEU.2022. MINGOR.05	Upravljanje operacijom, obavljanje poslova administriranja operacije, izrada projektne prijave, priprema dokumentacije o nabavi, izrada ZNS-ova
Tihana Cigetić	Član projektnog tima	Izrada projektne prijave, priprema dokumentacije o nabavi, izrada ZNS-ova
Davor Havočić	Član projektnog tima	Izrada projektne prijave, priprema dokumentacije o nabavi, izrada ZNS-ova
Tomislav Gazić	Član projektnog tima	Koordinacija ovlaštenika za praćenje ugovora, Izvođača radova, Izvršitelja usluga i nadzora
Martina Dinjar	Ovlaštenici za praćenje ugovora	Ovlaštenik za praćenje ugovora branjeno područje 8 (2019.-2022.), branjeno područje 8 (2023.)
Marijan Mihić		Ovlaštenik za praćenje ugovora branjeno područje 8 (2019.-2022.), branjeno područje 12 (2022.), branjeno područje 14 (2019.-2022.), branjeno područje 14 (2023.)
Jakov Prgomet		Ovlaštenik za praćenje ugovora branjeno područje 8 (2019.-2022.)
Zlatko Novak		Ovlaštenik za praćenje ugovora branjeno područje 12 (2019.-2022.), branjeno područje 12 (2023.)
Krešimir Zubčić		Ovlaštenik za praćenje ugovora branjeno područje 12 (2021.), branjeno područje 14 (2023.)
Domagoj Marković		Ovlaštenik za praćenje ugovora branjeno područje 12 (2022.)
Dalibor Džapo		Ovlaštenik za praćenje ugovora branjeno područje 13 (2019.2022.), branjeno područje 14 (2020-2022.), branjeno područje 13 (2023.)
Nikola Mihaljević		Ovlaštenik za praćenje ugovora branjeno područje 11 (2019.-2020.)
Vedran Štimac		Ovlaštenik za praćenje ugovora branjeno područje 8 (2023.)
Dario Glogović		Ovlaštenik za praćenje ugovora branjeno područje 12 (2023.)
Igor Buhin		Ovlaštenik za praćenje ugovora branjeno područje 12 (2023.)

ZAKLJUČAK

Kroz Fond solidarnosti ukupno je bilo osigurano 54.884.450,00 kuna, odnosno 7.284.418,34 eura bespovratnih sredstava za Osiguranje preventivne infrastrukture oštećene potresom od 22. ožujka 2020. na području grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko - zagorske županije. Sklopljena su dva ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava FSEU.2022.MINGOR.05.001 i FSEU.2022.MINGOR.05.002. Kroz ugovor FSEU.2022.MINGOR.05.001 sanirano je 27 oštećenih lokacija, a kroz FSEU.2022.MINGOR.05.002 sanirano je 13 lokacija.

Osigurana bespovratna sredstva iskorištena su 99,32 % odnosno povučeno je ukupno 7.235.120,17 eura.

Fond solidarnosti i bespovratna sredstva ubrzala su i financijski olakšala proces sanacije vodnih građevina oštećenih u potresu na području sektora C obrane od poplava.

LITERATURA

- [1] Ožanić, T., Novosel, T. (2020): *Ispitivanje nasipa, retencija i brana nakon potresa*, Hrvatska vodoprivreda, travanj / lipanj 2020, broj 231, godište XXVIII, 4.-7. str.
- [2] Stručna ekspertiza za sanacije manjih šteta na vodnim građevinama nastalih nakon Zagrebačkog potresa koje se provode kroz ugovore o uslugama preventivne, redovne i izvanredne obrane od poplava i leda, Centar građevinskog fakulteta d.o.o. (2022), Zagreb
- [3] www.voda.hr

AUTORI

Ines Ožanić, mag. ing. geol.^a

Tihana Cigetić, ing. građ.^b

Tomislav Suton, mag. ing. aedif.^b

Goran Milaković, mag. ing. aedif.^a

Tomislav Gazić, mag. ing. aedif.^b

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10 000 Zagreb, Hrvatska, ines.ozanic@voda.hr, goran.milakovic@voda.hr

^b Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 271/IX, 10 000 Zagreb, Hrvatska, tihana.cigetic@voda.hr, tomislav.suton@voda.hr, tomislav.gazic@voda.hr



R 2.05.

OSIGURANJE PREVENTIVNE INFRASTRUKTURE OŠTEĆENE POTRESOM OD 28. I 29. PROSINCA 2020. GODINE NA PODRUČJU SISAČKO - MOSLAVAČKE, KARLOVAČKE I ZAGREBAČKE ŽUPANIJE

**Goran Milaković, Davorin Piha, Snježana Delaš,
Tatjana Dovranić Kardaš, Mišo Čičak**

SAŽETAK: Uslijed djelovanja potresa od 28. i 29. prosinca 2020. godine s epicentrom u blizini Petrinje došlo je do oštećenja nasipa i obala na mnoštvo lokacija uz obale rijeke Save, Kupe, Sunje, Gline, Petrinjčice, Radonje, potoka Utinje, Kupčine, Gradečki kanal, Reka, Gorščaki, Svinica, Paverak i drugih na području Sisačko - moslavačke županije, Karlovačke županije i Zagrebačke županije u ukupnoj dužini od oko 27,5 km, te se hitno pristupilo aktivnostima u svrhu ponovne uspostave funkcionalnosti sustava obrane od poplava. Za provedbu aktivnosti u svrhu ponovne uspostave funkcionalnosti sustava obrane od poplava dodijeljena su bespovratna financijska sredstva Fonda solidarnosti Europske unije za projekt „Osiguravanje preventivne infrastrukture oštećene potresom od 28. i 29. prosinca 2020. godine, na području Sisačko - moslavačke županije, Karlovačke županije i Zagrebačke županije“ (referentni broj: FSEU.2022.MINGOR 01.001). Vrijednost operacije iznosi 29.968.022,04 eura. Rok izvođenja radova je 30. studeni 2023. godine.

U okviru provedbe predmetne operacije do 30. lipnja 2023. završeni su radovi na izradi obaloutvrde na lijevoj obali rijeke Kupe u naselju Letovaniću i Žožini, obnovi nasipa u Letovaniću i Tišini Erdedskoj, desnog nasipa oteretnog kanala Lonja - Strug kod CS Mahovo, lijevog sunjskog nasipa kod naselja Stremen, lijevog savskog nasipa u Mlaci, južnog nasipa retencije Mokro polje u Mlaci, izradi pristupnih puteva uz lijevi savski nasip od Hrastelnice do Lonje, kao i velik broj sanacije odrona obala i obaloutvrda na vodotocima u Karlovačkoj županiji. Obnova desnog kupskog nasipa u Petrinji, dionice lijevog nasipa rijeke Petrinjčice, dionica lijevog savskog nasipa u Palanjku, Hrastelnici i Galdovu, dionice desnog nasipa rijeke Gline u Glini, sanacija odrona lijeve obale rijeke Une i drugo su u tijeku.

Od ugovorene vrijednosti radova u iznosu od 29.968.022,04 eura do 30. lipnja 2023. realizirano je 26.187.060,78 eura bespovratnih sredstva Fonda solidarnosti Europske unije. Do 30. studenog 2023. planira se još realizirati preostalih 3.780.961,26 eura iz nacionalnih sredstava čime se uspostavlja u potpunosti funkcionalan sustav obrane od poplava na svim dionicama koje su bile oštećene potresom.

KLJUČNE RIJEČI: Potres, Fond solidarnosti, Bespovratna sredstva, Branjena područja, Sanacija

SECURING PREVENTIVE INFRASTRUCTURE DAMAGED BY THE EARTHQUAKE OF 28. AND 29. 12. 2020. IN THE SISAK - MOSLAVINA, KARLOVAC AND ZAGREB COUNTIES

ABSTRACT: As a result of the earthquake of 28. and 29. 12. 2020 with the epicentre near Petrinja, a damage to embankments and river banks occurred in many locations along the Sava, Kupa, Sunja, Glina, Petrinjčica, Radonja, Utinja (stream), Kupčina, Gradečki kanal, Reka, Gorščaki, Svinica, Paverak Rivers in the Sisak - Moslavina, Karlovac and Zagreb Counties (in the total length of about 27.5 km). The activities to restore the flood defence system's functionality were urgently started. Financing from the European Union Solidarity Fund was allocated for the implementation of activities on the re-establishment of the flood defence system's functionality, i.e. for the project "Securing preventive infrastructure damaged by the earthquake of 28. and 29.12.2020 in the Sisak - Moslavina, Karlovac and Zagreb Counties" (Ref. No.: FSEU.2022.MINGOR 01.001). The value of the operation equalled EUR 29,968,022.04. The deadline for the completion of works was 30. 11. 2023.

As part of the project implementation, the construction of a revetment on the Kupa left bank in the Letovanić and Žažina settlements, the rehabilitation of the embankment in Letovanić and Tišina Erdedska, the right embankment of the Lonja - Strug relief canal near the PS Mahovo, the left Sunja embankment near the Stremen settlement, the left Sava embankment in Mlaka, the southern embankment of the Mokro Polje retention in Mlaka, the construction of access roads along the left Sava embankment from Hrastelnica to Lonja, as well as the rehabilitation of numerous landslides and revetments on water-courses in the Karlovac County were completed by 30. 06. 2023. The rehabilitation of the right Kupa embankment in Petrinja, sections of the left Petrinjčica embankment, sections of the left Sava embankment in Palanjek, Hrastelnica and Galdovo, sections of the right Glina embankment in Glina, and the rehabilitation of the landslide on the left Una bank, etc. are in progress.

From the contracted value of the works in the amount of EUR 29,968,022.04, EUR 26,187,060.78 of the grant from the European Union Solidarity Fund were realized by 30.06.2023. The realisation of the remaining EUR 3,780,961.26 from the national funds was planned by 30.11.2023, which will establish a fully functional flood defence system in all sections that were damaged by the earthquake.

KEYWORDS: Earthquake, Solidarity fund, Grant, Defended areas, Rehabilitation

1. UVOD

Dana 28. prosinca 2020. godine dogodio se jak potres magnitude 5.0 prema Richteru s epicentrom kod Petrinje. Isti dan, dogodila su se još dva jaka potresa magnituda 4,7 i 4,1 te niz slabijih potresa. Ovi potresi bili su prethodni potresi najjačem udaru, razornom potresu koji se dogodio 29. prosinca 2020. godine, magnitude 6,2 prema Richteru. Ovaj

potres jedan je od dva najjača instrumentalno zabilježena potresa u Republici Hrvatskoj (od 1909. godine). Potres se osjetio diljem Hrvatske i u okolnim zemljama, a intenzitet u epicentru preliminarno je ocijenjen na VIII - IX stupnjeva EMS ljestvice.

Potres je na području Petrinje, Gline i Siska uzrokovao ljudske žrtve i znatne materijalne štete.

Nakon ovog glavnog potresa uslijedio je velik broj naknadnih potresa. Prema preliminarnim podacima, u petrinjskom se području od 28. prosinca 2020. godine do 28. siječnja 2021. godine dogodilo 622 potresa magnitude veće ili jednake 2.0. Od toga je 535 potresa bilo magnitude između 2 i 3, 76 potresa magnitude između 3 i 4, osam potresa magnitude između 4 i 5, dva potresa magnitude između 5 i 6 te jedan potres magnitude veće od 6.

Usljed djelovanja potresa došlo je do oštećenja nasipa i obala na mnoštvo lokacija uz obale rijeke Save, Kupe, Sunje, Gline, Petrinjčice, Radonje, potoka Utinje, Kupčine, Gradečki kanal, Reka, Gorščaki, Svinica, Paverak i drugih na području Sisačko - moslavačke županije, Karlovačke županije i Zagrebačke županije u ukupnoj dužini od cca 27,5 km.

2. SANACIJA ŠTETA OD POTRESA

2.1. Obrana od poplava

Obrana od poplava provodi se na teritorijalnim jedinicama za obranu od poplava - vodnim područjima, sektorima, branjenim područjima i dionicama. Republika Hrvatska je na taj način podijeljena na 2 vodna područja, 6 sektora i 34 branjena područja. Granice vodnih područja, sektora i branjenih područja određene su Zakonom o vodama, dok se broj i oznaka pojedine dionice utvrđuje Glavnim provedbenim planom obrane od poplava, prikaz sektora i granica branjenih područja na području Republike Hrvatske nalazi se na Slici 1.



Slika 1. Kartografski prikaz sektora i granica branjenih područja na području Republike Hrvatske (izvor: www.voda.hr)

S obzirom na branjena područja uočena su oštećenja kod postojećih regulacijskih i vodnih građevina na:

- branjenom području broj 10 (područje malog sliva Banovina u Sisačko - moslavačkoj županiji),
- branjenom području broj 5 (područje malog sliva Subocka - Strug u Sisačko - moslavačkoj županiji) i
- branjenom području broj 11 (područje malog sliva Kupa u Karlovačkoj i Zagrebačkoj županiji),

te je postojala opasnost od sloma objekata obrane od poplava na navedenim lokacijama i daljnja oštećenja istih, kao i realna opasnost od poplave kod pojave visokih vodostaja što posljedično ozbiljno ugrožava zdravlje, živote te imovinu stanovništva. Stoga se hitno pristupilo aktivnostima u svrhu ponovne uspostave funkcionalnosti sustava obrane od poplava.

2.2. Oštećenja nastala na vodnim građevinama

Hrvatske vode su već nakon prvog potresa 28. prosinca 2020. godine žurno pristupile provjeri stanja svih savskih i kupskih nasipa, kao i drugih regulacijsko - zaštitnih vodnih građevina i objekata (akumulacije, retencije, ustave, preljevi, crpne stanice i drugo) na području Sisačko - moslavačke županije.

Terenskim obilascima uočena su brojna oštećenja nasipa na mnoštvo lokacija. Registrirana oštećenja vodozaštitnog nasipa su: pukotine u temeljnom tlu, pukotine na kontaktu berme i tijela nasipa te pukotine i plitka klizanja na pokosu nasipa.

Također, u širem području zaobalja uočena je pojava likvefakcije pijeska. Likvefakcija je pojava u kojoj zbog naglosti gibanja uzrokovanog potresom tlo zasićeno vodom gubi svoju čvrstoću te se počinje ponašati kao viskozna tekućina - ono što se tada može dogoditi jest da objekti, koji se nalaze na takvom tlu, jednostavno "potonu".

Zbog utvrđenih oštećenja na regulacijsko zaštitnim vodnim građevinama na području malog sliva Banovina za područje Sisačko - moslavačke županije 30. prosinca 2020. godine proglašene su izvanredne mjere obrane od poplava.

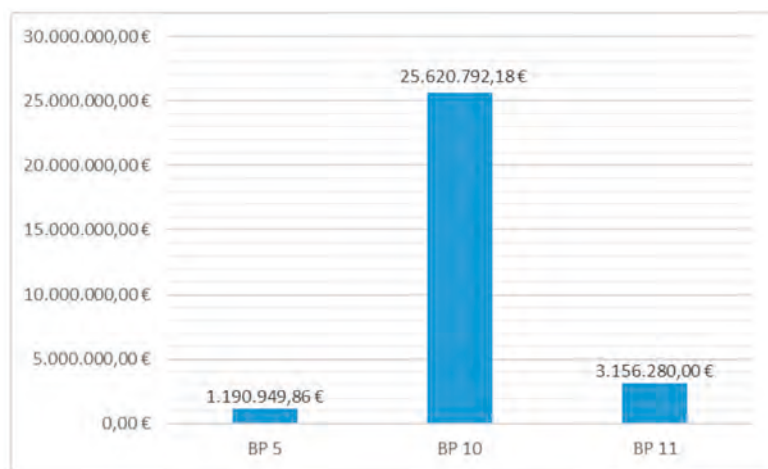
2.3. Fond solidarnosti

Za provedbu aktivnosti u svrhu ponovne uspostave funkcionalnosti sustava obrane od poplava stavljena su na raspolaganje sredstva Fonda solidarnosti Europske unije, te su Hrvatske vode podnijele prijavu da iskoriste raspoloživa sredstva. Dana 8.srpnja 2022 godine između Hrvatskih voda kao korisnika i Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja (MINGOR) kao tijela odgovornog za provedbu financijskog doprinosa (TOPFD) zaključen je ugovor o dodjeli bespovratnih financijskih sredstava za operacije koje se financiraju iz Fonda solidarnosti Europske unije „Osiguravanje preventivne infrastrukture oštećene potresom od 28. i 29. prosinca 2020. godine, na području Sisačko - moslavačke županije“ (referentni broj: FSEU.2022.MINGOR 01.001) na iznos 169.557.761,20 kuna s rokom provedbe do 15. svibnja 2023. Prvim dodatkom ugovoru od 13. ožujka 2023. godine rok izvođenja radova produžen je do 30. lipnja 2023., a iznos ugovora je povećan na 29.968.022,04 eura.

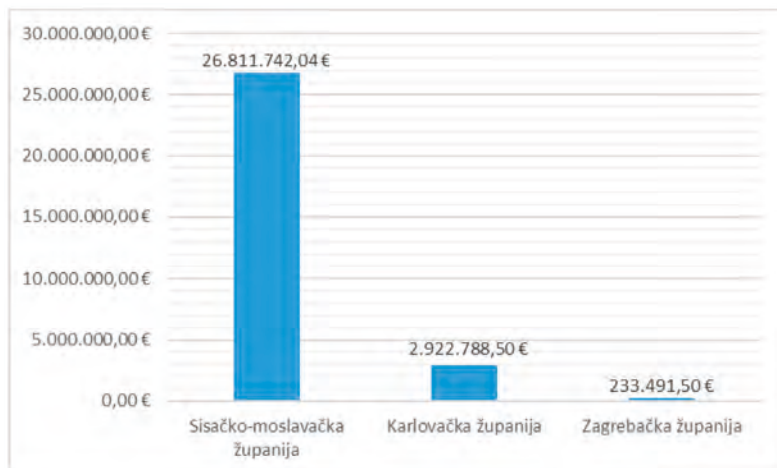
Naime vremenom se pokazalo da su oštećenja većeg obima te je obim operacije povećan, a zbog prisutne inflacije povećali su se i troškovi izvođenja radova. Projekt „Osiguravanje preventivne infrastrukture oštećene potresom od 28. i 29. prosinca 2020. godine, na području Sisačko - moslavačke županije, Karlovačke županije i Zagrebačke županije“ je do 30. lipnja 2023. godine realiziran s 87,38 %. Drugim dodatkom ugovoru od 30. lipnja 2022. godine rok izvođenja radova produžen je do 30. studenog 2023. te se nastavak radova financira iz državnog proračuna.

Ukupno je prijavljeno 124 lokacije za sanaciju na 3 branjena područja. Na Slici 2. prikazana je prijava troškova prema branjenim područjima.

- na branjenom području 5 - područje maloga sliva Subocka- Strug prijavljene su 3 lokacije,
- na branjenom području 10 - područje maloga sliva Banovina prijavljeno je 76 lokacija,
- na branjenom području 11 - područje maloga sliva Kupa prijavljeno je 45 lokacija.



Slika 2. Grafički prikaz prijavljenih troškova po branjenim područjima
- ukupno 29.968.022,04 eura (FSEU.2022.MINGOR.01.001)



Slika 3. Grafički prikaz prijavljenih troškova po županijama (FSEU.2022.MINGOR.01.001)

2.4. Provedba ugovora

U sklopu projekta Osiguranje preventivne infrastrukture oštećene potresom od 28. i 29. prosinca 2020. godine na području Sisačko - moslavačke, Karlovačke i Zagrebačke županije izvršene su sljedeće aktivnosti:

- Hitne intervencije na objektima obrane od poplava: vađenje materijala iz korita rijeke Save za popunjavanje, odnosno nadomještanje skladišta obrane od poplava utrošenog materijala, izrada pristupnih puteva, privremena sanacija oštećenja nasipa izvedbom obalne i zaobalne berme s ciljem sprečavanja opasnosti od sloma objekta obrane od poplava, sanacija oštećenja obala i cesta, sanacija pristupnih puteva uz nasipe na područjima likvefakcije,
- Aktivne obrane od poplava na potresom pogođenom području: uspostavljanje druge linije obrane od poplava postavljanjem box barijera, izrada pristupnih cesta, privremena sanacija oštećenja nasipa izvedbom obalne i zaobalne berme, privremene sanacije odrona na nasipima, privremena sanacija pukotina uz nožicu nasipa s ciljem sprečavanja opasnosti od sloma objekta obrane od poplava, provođenje mjera aktivne obrane od poplava na dionicama nasipa koje su u sanaciji zbog potresa, postavljanjem privremenih nasipa od box barijera i vreća s pijeskom, te crpljenje vode iz zatvorenih kazeta na dionicama nasipa od box barijera,
- Priprema projektne tehničke dokumentacije sanacije oštećenja nasipa, obala i cesta,
- Provedba stručnog građevinskog, geotehničkog nadzora s kontrolom kvalitete ugradnje materijala i geodetskog nadzora nad izvođenjem radova održavanja / sanacije nasipa,
- Izvedba radova / usluga sanacije, odnosno radova održavanja na lokacijama oštećenja nasipa i obala.

2.5. Istražni radovi

Istražnim radovima provedenim tijekom srpnja i kolovoza 2021. godine prikupljeni su podaci

neophodni za izradu projekta izvanrednog održavanja nasipa.

Temeljem dobivenih rezultata sondiranja uočeno je da je u materijalima pijeska visoka vjerojatnost pojave likvefakcije (tlo će gotovo sigurno likvefirati).

Obzirom da je na pojedinim lokacijama utvrđeno kako je temeljno tlo sklono likvefakciji, a budući potresi mogu utjecati na nosivost ili stabilnost istoga, bilo je potrebno izvesti mjere osiguranja stabilnosti temelja u vidu poboljšanja temeljnog tla.

2.6. Konceptija rješenja

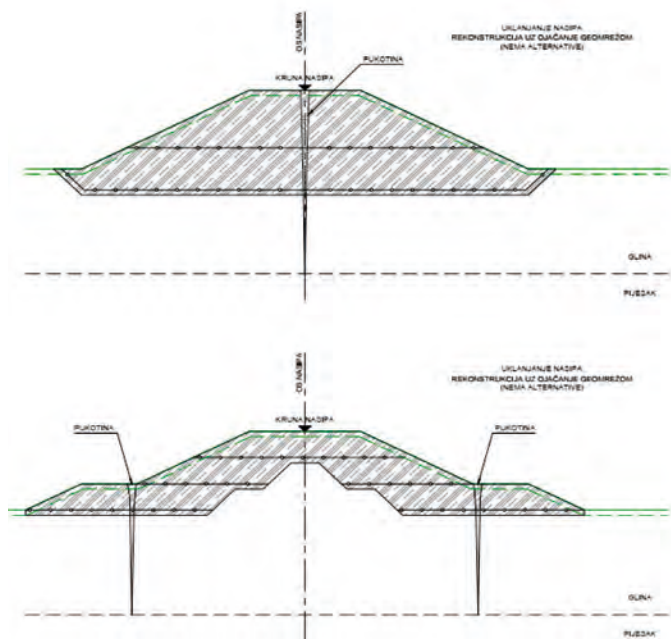
Na kritičnim dionicama oštećenih nasipa u kratkom su roku formirani privremeni nasipi kao 2. linija zaštite od poplava u slučaju popuštanja i havarije primarnih nasipa.

Usporedno s time planirani su daljnji koraci za izradu projektne dokumentacije za popravak oštećenih nasipa. Priprema za radove sanacije uključivala je geodetsko snimanje oštećenih nasipa, provedbu geotehničkih istražnih radova i geofizičkih istraživanja sa ciljem utvrđivanja novonastalog stanja nasipa i temeljnog tla u smislu geotehničke i hidrotehničke stabilnosti, preglede i interpretaciju oštećenja nasipa i temeljnog tla u užoj i široj zoni uz nasip te interpretaciju njihovog utjecaja na trajnu stabilnost i sigurnost vodozaštitnih nasipa.

Predložena su projektna rješenja ovisno o vrsti oštećenja.

2.7. Pukotine u nasipu u slijeganje nasipa

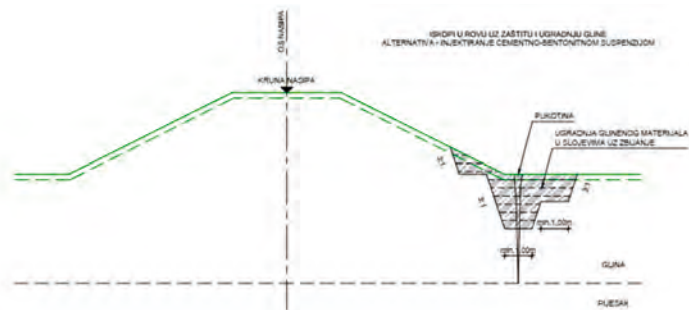
Pukotine u nasipu koje se protežu dubinom u temeljno tlo upućuju na premašenje posmične čvrstoće materijala nasipa te narušavanje integriteta nasipa. Uslijed slijeganja temeljnog tla uzrokovanog likvefakcijom, došlo je do potonuća tijela nasipa, vidljivog kao slijeganja na pukotinama. Stoga je potrebno oštećeni nasip ukloniti do razine temeljnog tla te ga ponovno izgraditi.



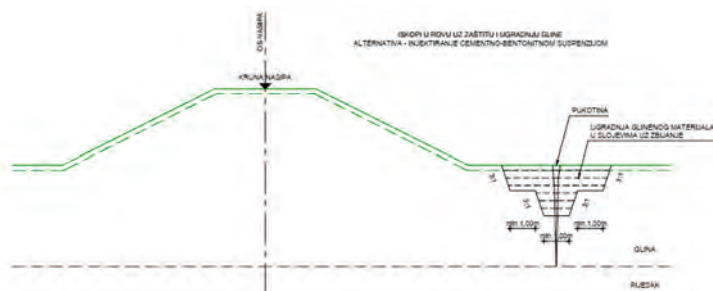
Slika 4. Mjera za sanaciju oštećenja kad su pukotine zahvatile tijelo nasipa

2.8. Pukotine u nožici nasipa

U zoni vodne i zaobalne nožice nasipa, kao i u široj zoni terena uz nasip, zamijećene su vertikalne pukotine u tlu, širine od nekoliko centimetara do nekoliko desetaka centimetara, dubine od jednog do nekoliko metara. Pukotine se najčešće protežu paralelno s pružanjem nasipa. Neposredno nakon potresa zamijećeno je istjecanje vode i iznošenje pijeska kroz pukotine, što je jasan pokazatelj da je u temeljnom tlu došlo do likvefakcije. Stoga je pukotine u temeljnom tlu, koje se nalaze neposredno uz nasip na vodnoj i zaobalnoj strani potrebno sanirati kontroliranim zatrpavanjem.



Slika 5. Prijedlog sanacija pukotina u temeljnom tlu u nožici nasipa (spoj nasipa sa temeljnim tlom)



Slika 6. Prijedlog sanacija pukotina u temeljnom tlu u nožici nasipa (zona JVD)

2.9. Deformacije i slijeganje na kruni nasipa

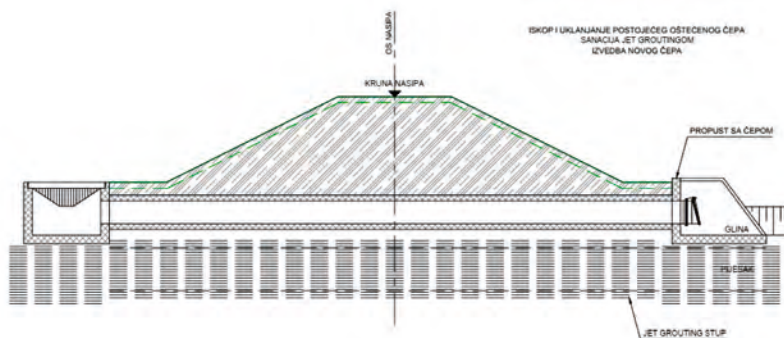
Usljed djelovanja potresa te pojave likvefakcije u širem području od epicentra potresa, zamijećena su slijeganja terena, što se odrazilo i na vodozaštitne nasipe. Osim toga, na krunama nasipa zamijećena je pojava otvaranja pukotina ljeti uslijed isušivanja glinenog materijala. Stoga se na dionicama koje su predmetom projekta izvela korekcija visine kruna nasipa kako bi odgovaralo sigurnosnom nadvišenju ($100 \text{ g. V.V.} + 120 \text{ cm}$). Pri tome se na krunu nasipa ugrađuje mješavina glinenog materijala i šljunka (50 : 50) čime će se riješiti problem pojave pukotina uslijed isušivanja.



Slika 7. Korekcija kruna na kotu sigurnosnog nadvišenja i mjere zaštite od raspucavanja isušivanjem

2.10. Sanacija oštećenih propusta s čepovima

Usljed djelovanja potresa na mjestima propusta ispod nasipa došlo je do oštećenja. Propusti se uklanjaju, vrši se stabilizacija i potrebno ojačanje temeljnog tla te se propusti s čepovima izvode prema stanju prije potresa.



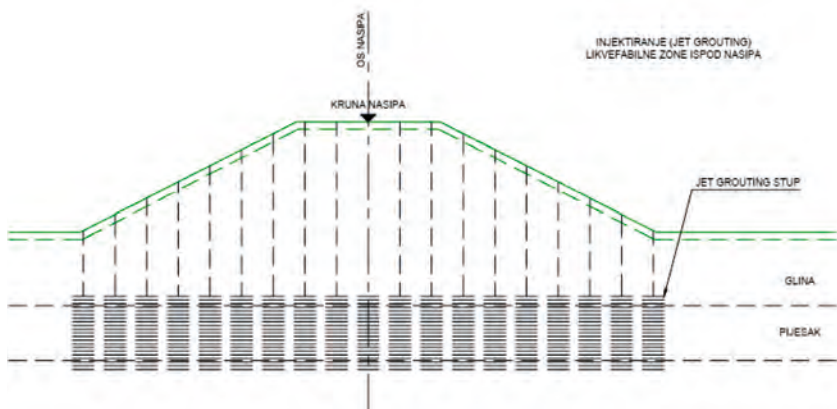
Slika 8. Propust s čepom uz ojačanje temeljnog tla i mjere protiv interne erozije (poprečni presjek)

2.11. Sanacija temeljnog tla ispod nasipa

Ojačanje temeljnog tla za seizmička opterećenja ispod nasipa složen je zahvat i primjenjuje se na ograničenim dionicama, gdje su posljedice potresnog hazarda velike, dok se na preostalim dionicama izvode površinske mjere ublažavanja posljedica djelovanja potresa i likvefakcije.

Razmotrile su se tri varijante sanacije temeljnog tla ispod nasipa:

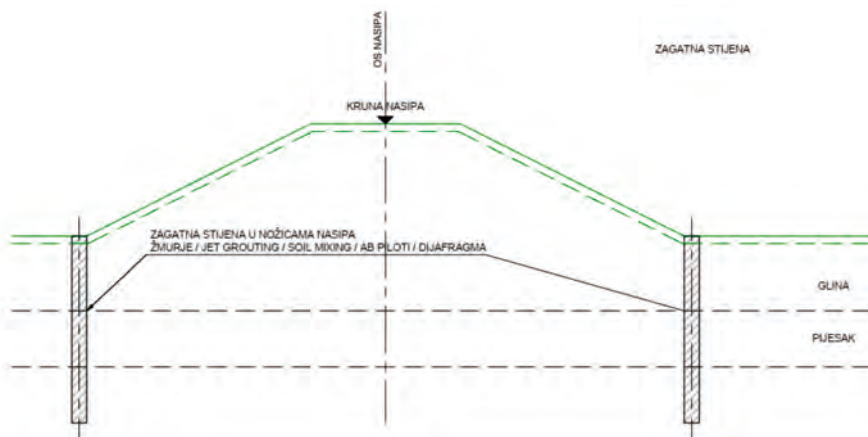
- A) **Ojačanje likvefabilne zone mlazno injektiranim stupnjacima** - Na dijelu tla ispod nasipa koje na temelju istražnih radova ima visoki potencijal likvefakcije (vjerojatnost pojave likvefakcije $> 85\%$ za referentni potres $M_w = 6.5$) izvodi se poboljšanje izvedbom mlazno - injektiranih stupnjaka (jet - grouting). Stvaranjem cementom ojačanih stupnjaka povećat će se čvrstoća i krutost temeljnog tla, smanjiti vodopropusnost u zoni ispod nasipa te onemogućiti pojava likvefakcije. Na taj će se način tlo ispod nasipa efikasnije suprotstavljati eventualnim budućim seizmičkim opterećenjima, neovisno o djelovanju potresa na okolno tlo.



Slika 9. Sanacija likvefabilne zone temeljnog tla ispod nasipa mlazno injektiranim

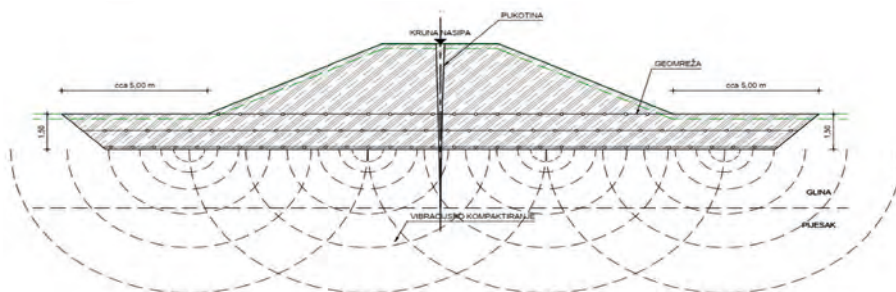
stupnjacima (jet grouting)

- B) Zatvaranje temeljnog tla ispod nasipa u "kutiju"** - Rješenje pretpostavlja da se temeljno tlo s obje strane nasipa omeđi zagatnom konstrukcijom koja doseže do nosive, nelikvefabilne podloge. Na taj se način onemogućuje likvefakcija ispod nasipa, kao i efekti likvefakcije okolnog terena na stabilnost nasipa. Konstrukcija se izvodi s površine terena u obje nožice nasipa.



Slika 10. Izvedba zagatnih stijena u nožicama nasipa za zatvaranje temeljnog tla u „kutiju“

- C) Zamjena temeljnog tla ispod nasipa uz ojačanje geomrežama i vibracijsko kompaktiranje** - Varijanta rješenja podrazumijeva da se temeljno tlo ispod nasipa i u zoni od nekoliko metara uz nasip iskopa do razine minimalno 1,5 m od površine terena te zamijeni ugradnjom kvalitetnog glinenog materijala ojačanog sa nekoliko slojeva geomreža. Nedostatak ove varijante rješenja su relativno opsežni zemljani radovi te činjenica da se prilikom izvođenja radova postojeći nasip kompletno uklanja te je potrebno osigurati privremenu zaštitu od velikih voda.



Slika 11. Zamjena temeljnog tla ispod nasipa uz ojačanje geomrežama i vibracijsko kompaktiranje

Ovisno o lokaciji, vrsti oštećenja i potrebnoj sanaciji predložene metode se odabiru, kom-

biniraju i dodatno razrađuju.

2.12. Prikaz oštećenja i izvršenih aktivnosti na pojedinim lokacijama

Galdovo od nkm 101 + 200 do nkm 102 + 000

- pristupni put: 600 m,
- druga linija obrane s box barijerama: 740 m.



Slika 12. Galdovo - oštećenja nasipa (crveno), linija obrane od poplava (zeleno)



Slika 13. Galdovo - oštećenja i obnova nasipa

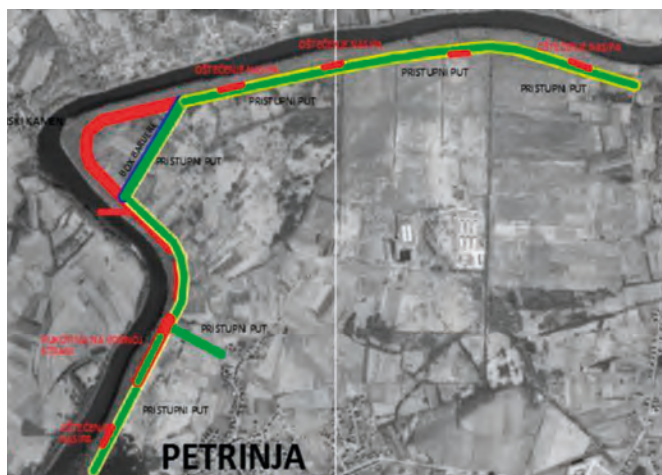
Krnjica, od nkm 0 + 000 do nkm 4 + 900

UŠĆE PETRINJČICE - KRNJICA

- pristupni put: 2.400 m,
- druga linija obrane s box barijerama: 530 m.

KRNJICA - NOVA DRENČINA

- pristupni put: 2.400 m,
- proširenje i povećanje pukotina u nožici s vodne strane nasipa u dužini od oko 400 m,
- 1. ožujka 2021. završeno zatvaranje najveće pukotine u dužini od oko 270 metara,
- 2. ožujka 2021. završeno zatvaranje druge najveće pukotine u dužini od oko 130 metara,
- druga linija obrane s box barijerama: 530 m.



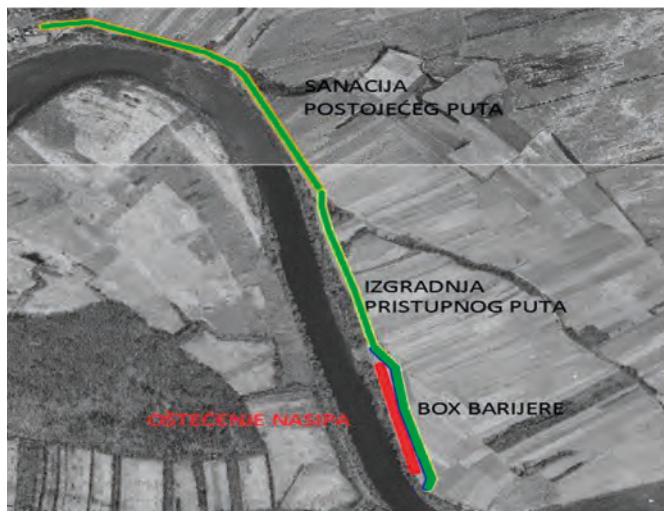
Slika 14. Krnjica - oštećenja nasipa (crveno), linija obrane od poplava (zeleno)



Slika 15. Krnjica - oštećenja nasipa i radovi na uspostavi druge linije obrane od poplava

Stara Drenčina - 1, od nkm 8 + 500 do nkm 9 + 100

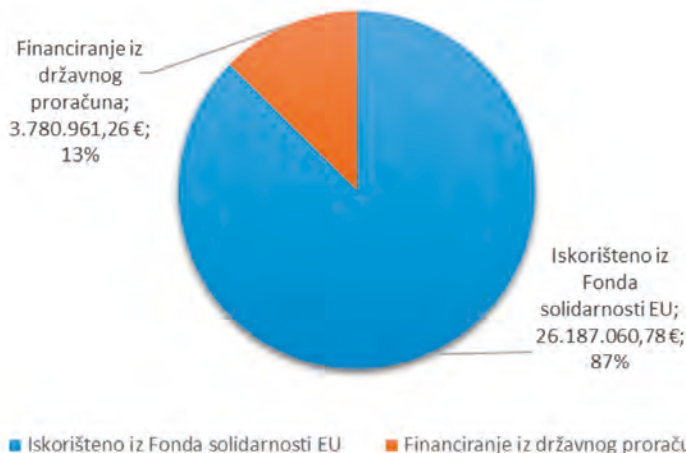
- pristupni put: 2.300 m,
- druga linija obrane s box barijerama: 580 m.



Slika 16. Stara Drenčina - oštećenja nasipa (crveno), linija obrane od poplava (zeleno)



Slika 17. Stara Drenčina - oštećenje nasipa i druga linija obrane od poplava
- box barijere



Slika 18. Grafički prikaz povlačenja sredstava po izvorima financiranja (FSEU.2022.MINGOR.01.001)

Na realizaciji Fonda solidarnosti odnosno na provedbi ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava sudjelovali su djelatnici Hrvatskih voda navedeni u Tablici 1.

Tablica 1. Djelatnici Hrvatskih voda zaduženi za provedbu Fonda solidarnosti

OPERACIJE FINANCIRANE IZ FONDA SOLIDARNOSTI: FSEU.2022.MINGOR.01. - Sanacija šteta nastalih potresom od 28. i 29. prosinca 2020. godine na regulacijskim i zaštitnim vodnim građevinama na području Sisačko-moslavačke županije, Karlovačke županije i Zagrebačke županije		
Ime i prezime	Funkcija	Opis posla
Zoran Đuroković	Generalni direktor Hrvatskih voda	Odgovorna osoba Prijavitelja (Krajnjeg Korisnika operacija)

Davor Vukmirić	Zamjenik generalnog direktora Hrvatskih voda za vodno područje rijeke Dunav	Koordinacija provedbe operacija na razini Direkcije Hrvatskih voda
Goran Milaković	Voditelj Sektora zaštite od štetnog djelovanja voda	Koordinacija pripreme operacija na razini Direkcije Hrvatskih voda
Davorin Piha	Direktor vodnogospodarskog odjela za srednju i donju Savu	Koordinacija pripreme i provedbe operacija na razini vodnogospodarskog odjela
Snježana Delaš	Voditeljica operacije FSEU.2022.MINGOR.01. i FSEU.2022.MINGOR.02.	Upravljanje operacijom, obavljanje poslova administriranja operacije, izrada projektne prijave, priprema dokumentacije o nabavi, izrada ZNS-ova
Mišo Čičak	Član projektnog tima	Koordinacija voditelja projekata, ovlaštenika za praćenje ugovora, Izvođača radova, Izvršitelja usluga i nadzora
Tatjana Dovranić Kardaš	Član projektnog tima	Izrada projektne prijave, priprema dokumentacije o nabavi, izrada ZNS-ova, ovlaštenik za praćenje sekundarnog ugovora (branjeno područje 10 i urušne vrtače)
Tomislav Naglić	Član projektnog tima	Ovlaštenik za praćenje sekundarnog ugovora (branjeno područje 5)
Milenko Vukobrat	Član projektnog tima	Ovlaštenik za praćenje sekundarnog ugovora (branjeno područje 11)
Dražen Ninčević	Član projektnog tima	Voditelj projekata (Galdovo, Krnjica, Brest)
Đurđica Franić	Član projektnog tima	Ovlaštenik za praćenje sekundarnog ugovora (Petrinjšica)
Igor Stanić	Član projektnog tima	Ovlaštenik za praćenje sekundarnog ugovora (Hrastelnica)
Mirko Žderić	Član projektnog tima	Ovlaštenik za praćenje sekundarnog ugovora (Palanjek)
Aleksandar Fijan	Član projektnog tima	Ovlaštenik za praćenje sekundarnog ugovora (Glina)

3. ZAKLJUČAK

U okviru provedbe operacije koje se financiraju iz Fonda solidarnosti Europske unije „Osiguravanje preventivne infrastrukture oštećene potresom od 28. i 29. prosinca 2020. godine, na području Sisačko - moslavačke županije, Karlovačke županije i Zagrebačke županije“ (referentni broj: FSEU.2022.MINGOR 01.001), do 30. lipnja 2023. završeni su radovi na izradi obaloutvrde na lijevoj obali rijeke Kupe u naselju Letovaniću i Žožini, obnovi nasipa u Letovaniću i Tišini Erdedskoj, desnog nasipa oteretnog kanala Lonja - Strug kod CS Mahovo, lijevog sunjskog nasipa kod naselja Stremen, lijevog savskog nasipa u Mlaci, južnog nasipa retencije Mokro polje u Mlaci, izradi pristupnih puteva uz lijevi savski nasip od Hrastelnice do Lonje, kao i velik broj sanacija odrona obala i

obaloutvrda na vodotocima u Karlovačkoj županiji. Radovi na obnovi desnog kupskog nasipa u Petrinji, dionice lijevog nasipa rijeke Petrinjčice, dionica lijevog savskog nasipa u Palanjeku, Hrastelnici i Galdovu, dionice desnog nasipa rijeke Gline u Glini, sanacija odrona lijeve obale rijeke Une i drugo su u tijeku.

Od ugovorene vrijednosti radova u iznosu od 29.968.022,04 eura do 30. lipnja 2023. godine realizirano je 26.187.060,78 eura bespovratnih sredstva Fonda solidarnosti Europske unije. Do 30. studenog 2023. godine planira se još realizirati preostalih 3.780.961,26 eura iz nacionalnih sredstava čime se uspostavlja u potpunosti funkcionalan sustav obrane od poplava na svim dionicama koje su bile oštećene potresom.

LITERATURA

- [1] Bačić, M., Ivšić, T., Kovačević, M. S.: Geotechnics as an unavoidable segment of earthquake engineering, *GRAĐEVINAR*, 72 (2020) 10, pp. 923-936, doi: <https://doi.org/10.14256/JCE.2968.2020>
- [2] Mihaljević, I., Matešić, L. Lijevoobalni nasip od n km 101+200 do n.km 102+000 u nasljeju Galdovo, Sisačko - moslavačka županija, (2021) E-061-21-02

AUTORI

Goran Milaković, mag. ing. aedif. ^a

Davorin Piha, dipl. ing. građ. ^b

Snježana Delaš, dipl. ing. građ. ^a

Tatjana Dovranic Kardaš, dipl. ing. građ. ^c

Mišo Čičak, mag. ing. aedif. ^b

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska,
Goran.Milakovic@voda.hr, Snjezana.Delas@voda.hr

^b Hrvatske vode, Šetalište braće Radića 22, 35000 Slavonski Brod, Hrvatska,
davorin.piha@voda.hr, miso.cicak@voda.hr

^c Hrvatske vode, Ruđera Boškovića 11, 44000 Sisak, Hrvatska,
Tatjana.DovranicKardas@voda.hr



R 2.06.

SANACIJA URUŠNIH VRTAČA U NASELJIMA MEČENČANI I BOROJEVIĆI

**Goran Milaković, Davorin Piha, Snježana Delaš,
Tatjana Dovranić Kardaš, Mišo Čičak**

SAŽETAK: Uslijed djelovanja potresa od 28. i 29. prosinca 2020. godine s epicentrom u blizini Petrinje došlo je do prirodne pojave urušnih vrtača u vapnenačkom gorju. Stožer Civilne zaštite Republike Hrvatske za otklanjanje posljedica katastrofe uzorkovane potrebom zbog opasnosti za zdravlje i imovinu ljudi, zadužio je Hrvatske vode da organiziraju i izvrše sanaciju urušnih vrtača.

Za provedbu aktivnosti u svrhu ponovne uspostave funkcionalnosti sustava obrane od poplava stavljena su na raspolaganje sredstva Fonda solidarnosti Europske unije. Između Hrvatskih voda kao korisnika i Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja (MINGOR) kao tijela odgovornog za provedbu financijskog doprinosa (TOPFD) zaključen je ugovor o dodjeli bespovratnih financijskih sredstava za operacije koje se financiraju iz Fonda solidarnosti Europske unije „*Sanacija urušnih vrtača u naseljima Mečenčani i Borojevići*“ (referentni broj: FSEU.2022.MINGOR 02.026).

Vrijednost operacije iznosila je 1.238.767,44 eura. Rok izvođenja radova - 31. kolovoz 2023. Od inicijalno planiranih 109 urušnih vrtača do 30.06.2023. je sanirano 72 urušnih vrtača, a do 27.07.2023. još 41 urušna vrtača. Svukupno je sanirano 113 urušnih vrtača. Od ugovorene vrijednosti radova do 31. kolovoza 2023. godine realizirano je ukupno 1.192.656,65 eura od čega 652.435,09 eura bespovratnih sredstva Fonda solidarnosti Europske unije i 540.224,56 eura nacionalnih sredstava - državnog proračuna.

Sanacijom urušnih vrtača osigurana je ponovna mogućnost korištenja stambenih objekata i poljoprivrednih površina te stabilno funkcioniranje vodocrpilišta.

KLJUČNE RIJEČI: Potres, Fond solidarnosti, Bespovratna sredstva, Urušna vrtača, Sanacija

REHABILITATION OF COVER - COLLAPSE SINKHOLES IN THE MEČENČANI AND BOROJEVIĆI SETTLEMENTS

ABSTRACT: As a result of the earthquakes of 28.12.2020 and 29.12.2020 with the epicentre near Petrinja, cover - collapse sinkholes naturally occurred in the limestone hills. The Civil Protection Headquarters of the Republic of Croatia for the removal of the consequences of the disaster caused by the earthquake due to the danger to human health and property tasked Hrvatske vode to organise and carry out the restoration of the cover - collapse sinkholes.

Financing from the European Union Solidarity Fund was made available for the implementation of activities on the re-establishment of the flood defence system's functionality. Hrvatske vode as the Beneficiary and the Ministry of Economy and Sustainable Development as the Body Responsible for Implementing the Financial Contribution concluded a contract on the allocation of a grant for operations financed from the European Union Solidarity Fund "*Rehabilitation of cover - collapse sinkholes in the Mečenčani and Borojevići settlements*" (Ref. No.: FSEU.2022.MINGOR 02.026).

The value of the operation equalled EUR 1,238,767.44 EUR. The deadline for the completion of the works was 31.08.2023. Of the initially planned 109 cover - collapse sinkholes, 72 sinkholes were rehabilitated by June 30, 2023, and a further 41 cover - collapse sinkholes by July 27, 2023. A total of 113 sinkholes were rehabilitated. By August 31, 2023, a total of EUR 1,192,656.65 was realized from the contracted value of the works, of which EUR 652,435.09 were grants from the European Union Solidarity Fund and EUR 540,224.56 were national funds (state budget).

The rehabilitation of the cover - collapse sinkholes enabled the re-use of residential buildings and agricultural land, as well as a stable functioning of the water abstraction site.

KEYWORDS: Earthquake, Solidarity Fund, Grant, Cover - collapse sinkhole, Rehabilitation

1. UVOD

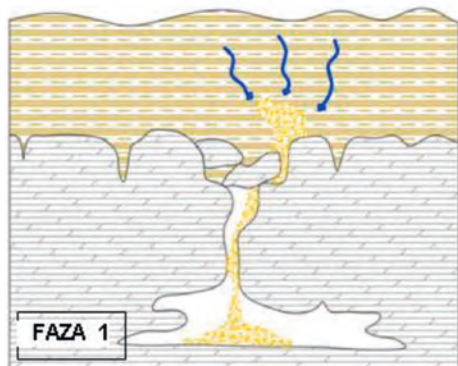
Dana 28. prosinca 2020. godine dogodio se jak potres magnitude 5.0 prema Richteru s epicentrom kod Petrinje. Isti dan, dogodila su se još dva jaka potresa magnituda 4,7 i 4,1 te niz slabijih potresa. Ovi potresi bili su prethodni potresi najjačem udaru, razornom potresu koji se dogodio 29. prosinca 2020. godine, magnitude 6,2 prema Richteru. Potres je na području Petrinje, Gline i Siska uzrokovao ljudske žrtve i znatne materijalne štete. Nakon ovog glavnog potresa uslijedio je velik broj naknadnih potresa. Prema preliminarnim podacima, u petrinjskom se području od 28. prosinca 2020. godine do 28. siječnja 2021. godine dogodilo 622 potresa magnitude veće ili jednake 2.0. Od toga je 535 potresa bilo magnitude između 2 i 3, 76 potresa magnitude između 3 i 4, osam potresa magnitude između 4 i 5, dva potresa magnitude između 5 i 6 te jedan potres magnitude veće od 6.

2. SANACIJA URUŠNIH VRTAČA U NASELJIMA MEČENČANI I BOROJEVIĆI

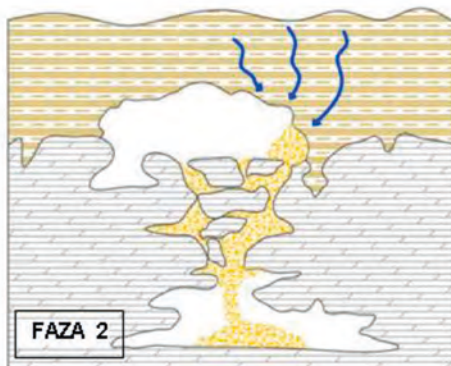
2.1. Oštećenja nastala na tlu

Nakon potresa 28. i 29. prosinca 2020. godine uočena je značajna pojava površinskih otvora u vapnenačkom gorju u Općini Kukuruzari, naseljima Mečenčani i Borojevići. Navedeni površinski otvori, nastali tijekom i nakon glavnog udara, su identificirani kao urušne vrtače, na čije stvaranje nije ukazivala nikakva deformacija površine tla ili slijevanje, što ih je činilo iznimno opasnim. Nedostatak površinskih pokazatelja, uz nagli porast broja vrtača u razdoblju nakon potresa, činilo je ovo područje visoko rizičnim za njene stanovnike. Osim toga, većina formiranih vrtača kontinuirano se širila, uglavnom zahvaljujući progresivnom urušavanju vertikalnih i subvertikalnih zasićenih stranica (pokosa) vrtača.

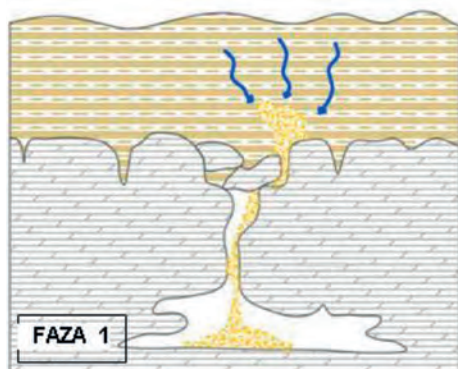
Zbog različitih geoloških uvjeta i fizičkog okruženja u kojem se razvijaju, svaka vrtača je jedinstvena. Vrtače s urušavanjem pokrova nastaju u tlu ili drugom rastresitom materijalu koji prekriva topive krške stijene, kao što je prikazano na slikama 1 do 4. Uslijed godišnje fluktuacije razine podzemne vode te uslijed procjeđivanja oborinskih voda, dolazi do sufozije (ispiranja) materijala pokrova u šupljine okršenih stijena (faza 1). Kako se sufozija pokrovnih sedimenata nastavlja, formira se strukturni luk (faza 2) unutar pokrivnih sedimenata, što dovodi do progresivnog proširenja gdje luk 'migrira' prema površini (faza 3). Ako je materijal pokrovni sediment prekonsolidiran, nisu vidljive indikacije u obliku deformacije površine tla. U konkretnom slučaju, potres visokog intenziteta na kraju je uzrokovao urušavanje strukturnog luka (faza 4), stvarajući tako iznenadne i dramatične pojave vrtača.



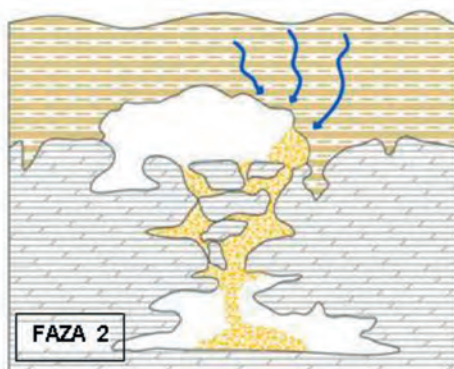
Slika 1. Ispiranje materijala kod nastanka vrtače



Slika 2. Formiranje strukturnog luka vrtače



Slika 3. Proširenje strukturnog luka vrtače



Slika 4. Urušavanje strukturnog luka - pojava vrtače

Stožer Civilne zaštite Republike Hrvatske za otklanjanje posljedica katastrofe uzrokovane potresom zbog opasnosti za zdravlje i imovinu ljudi zadužio je Hrvatske vode da organiziraju i izvrše sanaciju urušnih vrtača.

2.2. Fond solidarnosti

Za provedbu sanacije urušnih vrtača stavljena su na raspolaganje sredstva Fonda solidarnosti Europske unije. Između Hrvatskih voda kao korisnika i MINGOR-a kao tijela odgovornog za provedbu financijskog doprinosa (TOPFD) 1. prosinca 2022. godine zaključen je ugovor o dodjeli bespovratnih financijskih sredstava za operacije koje se financiraju iz Fonda solidarnosti Europske unije „Sanacija urušnih vrtača u naseljima Mečenčani i Borojevići“ (referentni broj: FSEU.2022.MINGOR 02.026) na iznos 11.338.438,29 kn (1.504.869,37 eura) s rokom provedbe do 30. lipnja 2023. Nakon provedenih istražnih radova i izrade projektne dokumentacije za sanaciju vrtača ustanovljena točnija procjena vrijednosti investicije te je Prvim dodatkom ugovoru od 25. svibnja 2023 iznos ugovora smanjen na 1.238.767,44 eura.

Zbog izrazito nepovoljnih vremenskih prilika - obilnih i dugotrajnih kiša te nabujalih rijeke u svibnju 2023. su na području Sisačko - moslavačke županije bile na snazi izvanredne mjere obrane od poplava i izvanredno stanje zbog porasta vodostaja Kupe kod Petrinje, a u Karlovačkoj županiji su bile na snazi izvanredne mjere obrane od poplava i izvanredno stanje zbog porasta vodostaja Korane i Kupe u Karlovcu što je utjecalo na produženje provedbe ugovora. Ugovor je do 30. lipnja 2023. realiziran 52,67 %, a Drugim dodatkom ugovoru od 30. lipnja 2022., rok izvođenja radova produžen je do 31. kolovoza 2023. godine, te je nastavak radova financiran iz državnog proračuna.

Izvori financiranja operacije su sljedeći:

bespovratna sredstva Fonda solidarnosti Europske unije: 652.435,09 eura,

nacionalna sredstva: 540.228,27 eura.

2.3. Provedba ugovora

Kao početni korak nakon potresa izvršena je ocjena postojećeg stanja i kategorizacija urušnih vrtača u naseljima Mečenčani i Borojevići.

Kategorizacija urušnih vrtača je obuhvatila izradu metodologije kategorizacije koja uključuje sve relevantne indikatore na temelju kojih se provela kategorizacija, uključivo (i) dimenzije (promjer i dubina), (ii) lokaciju u prostoru (ovisno o načinu korištenja i namjeni zemljišta, s koordinatama urušne vrtače), (iii) (ne) prisustvo vode u vrtači, (iv) sve ostale specifičnosti važne za kategorizaciju.

Nakon izrade metodologije, slijedio je terenski rad, uključivo obilazak svake vrtače, snimanje dimenzija, izrada fotodokumentacije te bilježenje svih specifičnosti za što je izrađen univerzalni obrazac terenske prospekcije. Sljedeći korak je obuhvatio uredski rad izrade elaborata kategorizacije s jasno iskazanim indikatorima definiranih metodologijom kategorizacija. Temeljem svega toga definirane su mjere sanacije i izrađeni su preliminarni troškovnici sanacije vrtača.

Definirane su sljedeće karakteristične lokacije urušnih vrtača:

Kategorija 1 - urušne vrtače ispod ili pokraj objekata,

Kategorija 2 - urušne vrtače u pojasu od 10 m od županijske ceste ŽC 3241,

Kategorija 3 - urušne vrtače u radijusu od 250 m od izvorišta Pašino Vrelo,

Kategorija 4 - urušne vrtače na obradivim poljoprivrednim površinama,

Kategorija 5 - urušne vrtače na neobradivim poljoprivrednim površinama,

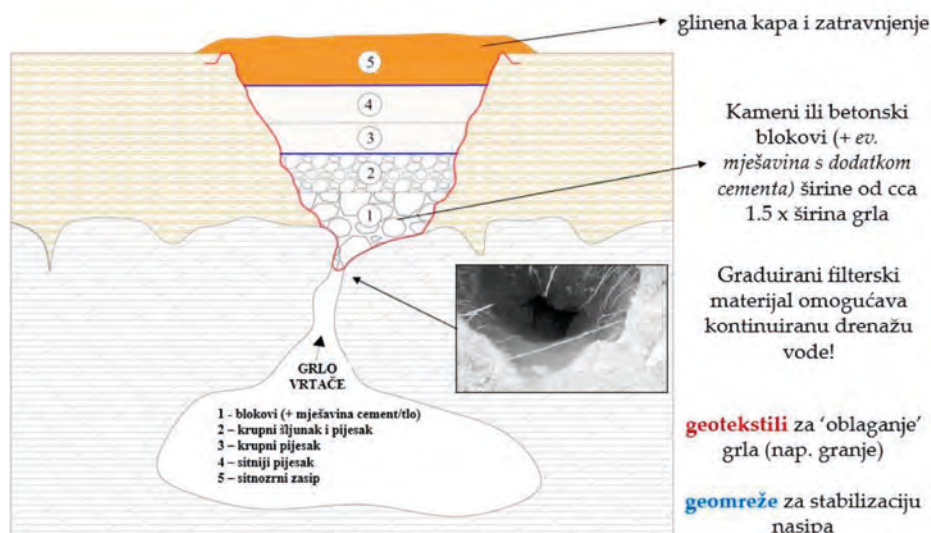
Kategorija 6 - urušne vrtače u šumi.

U sklopu pregleda vrtača otvorenih uslijed potresa na području Banovine krajem 2020. godine, detektirane su 143 vrtače od kojih su dvije iskakale izrazito velikim volumenima od 942,5 i 5.014 m³. Ostale vrtače su bile volumena manjeg od 450 m³, s time da je većina njih bila u području 1 - 50 m³. Oko 60 % vrtača je imalo površinu otvora do 15 m², a najveća površina koja odgovara vrtači s najvećim volumenom iznosila je oko 520 m². Većina vrtača je bila dubine do 2 m, a maksimalna dubina je bila 12 m i ona je odgovarala vrtači s najvećim volumenom. Pregledane vrtače nađene su na zemljištima različite namjene korištenja, kao što su šume, poljoprivredne površine, u dvorištima uz ili ispod kuća i tako dalje. Može se zaključiti da su se kraj vodocrpilišta otvarale rupe većeg volumena, s obzirom na to da ih ima više od upola manje nego na neobradivim poljoprivrednim površinama, a kumulativnim volumenom su skoro jednake vrtačama na neobradivim poljoprivrednim površinama.

Kategorizacijom vrtača preporučena je sanacija urušnih vrtača koje predstavljaju neposrednu opasnost za stanovnike predmetnog područja, objekte i infrastrukturu, ali i vrtača na poljoprivrednim površinama.

Vrtače su sanirane zatrpavanjem metodom inverznog filtera, a pri tome se posebna pozornost pridodala tome da se tehnologijom izvedbe radova ne utječe na tok podzemnih voda i da su materijali korišteni za zatrpavanje inertni, odnosno da ne zagađuju podzemne vode. Naime, rješenjem je bilo nužno izbjevati bilo kakve radove injektiranja na bazi cementa kako bi se spriječilo zagađenje kompleksnih mreža krških podzemnih tokova, naročito uzimajući u obzir blizinu vodocrpilišta Pašino Vrelo. Tijekom izvođenja bio je osiguran kontinuirani geotehnički nadzor

Shematski prikaz sanacije metoda inverznog filtera je dan na idućoj slici, prema radu: Bačić, Mario; Kovačević, Meho Saša; Librić, Lovorka; Žužul, Petra. Sinkholes induced by the Petrinja M6.2 earthquake and guidelines for their remediation // Proceedings of the 1st Croatian Conference on Earthquake Engineering - 1CroCEE / Lakušić, S.; Atalić, A. (ur.). Zagreb: University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering, 2021. str. 341-351 doi:10.5592/CO/1CroCEE.2021.237.



Slika 5. Sanacija vrtače metodom inverznog filtera



Slika 6. Vrtča UVM 001, k.o. Mečenčani - promjer 26 m, dubina 12 m, volumen 5014 m³



Slika 7. Sanacija vrtače UVM 001, k.o. Mečenčani



Slika 8. Vrtača UVM 048, k.o. Mečenčani - promjer 4,5 m, dubina 3 m, volumen 47,9 m³



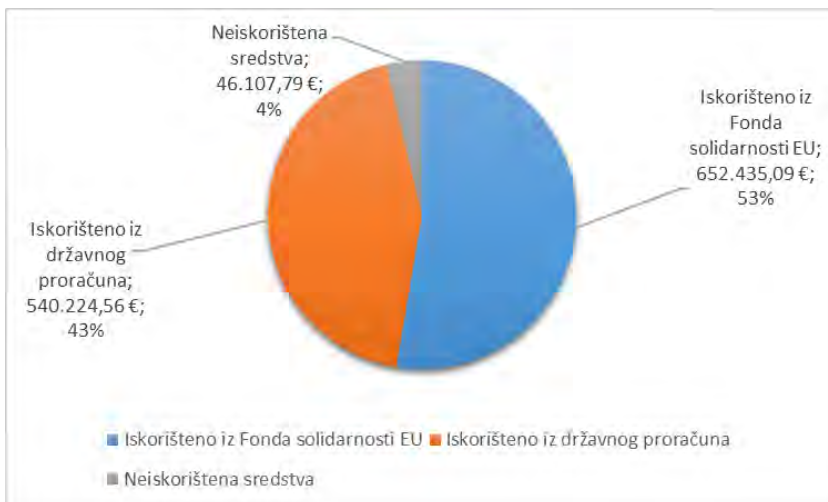
Slika 9. Sanacija vrtače UVM 048, k.o. Mečenčani



*Slika 10. Vrtača UVM 063 k.o. Mečenčani - promjer 9 m,
dubina 4 m, volumen 254,4 m³*



Slika 11. Sanacija vrtače UVM - 063



Slika 12. Grafički prikaz povlačenje sredstava i iskorištenosti ugovora FSEU.2022. MINGOR.02.026 od ukupno 1.238.767,44 eura

Na realizaciji Fonda solidarnosti odnosno na provedbi ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava sudjelovali su djelatnici Hrvatskih voda navedeni u Tablici 1.

Tablica 1: Djelatnici Hrvatskih voda zaduženi za provedbu Fonda solidarnosti

OPERACIJE FINANCIRANE IZ FONDA SOLIDARNOSTI: FSEU.2022.MINGOR.02.026 - Sanacija urušnih vrtača u naseljima Mečenčani i Borojevići		
Ime i prezime	Funkcija	Opis posla
Zoran Đuroković	Generalni direktor Hrvatskih voda	Odgovorna osoba Prijavitelja (Krajnjeg Korisnika operacija)
Davor Vukmirić	Zamjenik generalnog direktora Hrvatskih voda za vodno područje rijeke Dunav	Koordinacija provedbe operacija na razini Direkcije Hrvatskih voda
Goran Milaković	Voditelj Sektora zaštite od štetnog djelovanja voda	Koordinacija pripreme operacija na razini Direkcije Hrvatskih voda
Davorin Piha	Direktor vodnogospodarskog odjela za srednju i donju Savu	Koordinacija pripreme i provedbe operacija na razini vodnogospodarskog odjela
Snježana Delaš	Voditeljica operacije FSEU.2022.MINGOR.01. i FSEU.2022.MINGOR.02.	Upravljanje operacijom, obavljanje poslova administriranja operacije, izrada projektne prijave, priprema dokumentacije o nabavi, izrada ZNS-ova
Mišo Čičak	Član projektnog tima	Koordinacija voditelja projekata, ovlaštenika za praćenje ugovora, Izvođača radova, Izvršitelja usluga i nadzora
Tatjana Dovranić Kardaš	Član projektnog tima	Izrada projektne prijave, priprema dokumentacije o nabavi, izrada ZNS-ova, ovlaštenik za praćenje sekundarnog ugovora (branjeno područje 10 i urušne vrtače)

3. ZAKLJUČAK

U okviru provedbe operacije koje se financiraju iz Fonda solidarnosti Europske unije „Sanacija urušnih vrtača u naseljima Mečenčani i Borojevići“ (referentni broj: FSEU.2022.MINGOR 02.026) izvršena je sanacija ukupno 113 vrtača te je osigurana ponovna mogućnost korištenja stambenih objekata i poljoprivrednih površina i stabilno funkcioniranje vodocrpilišta.

Od ugovorene vrijednosti radova u iznosu od 1.238.767,44 eura do 31. kolovoza 2023. godine realizirano je ukupno 1.192.656,65 eura, od čega 652.435,09 eura bespovratnih sredstva Fonda solidarnosti Europske unije i 540.224,56 eura nacionalnih sredstava.

LITERATURA

- [1] Bačić, M.; Kovačević, M.S.; Librić, L.; Žužul, P. 2021. Sinkholes induced by the Petrinja M6.2 earthquake and guidelines for their remediation / Proceedings of the 1st Croatian Conference on Earthquake Engineering - 1CroCEE / Lakušić, S.; Atalić, A. (ur.). Zagreb: University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering, str. 341-351 doi:10.5592/CO/1CroCEE.2021.237
- [2] Jurić Kačunić, D.; Bačić, M.; Car, M.; Pušić, L.; Mance, M.; Perić, T.; Rossi, N.; Kovačević, M.S. 2022. / Ocjena postojećeg stanja i kategorizacija urušnih vrtača i Sisačko - moslavačkoj županiji, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet GIZ-110-024/2022

AUTORI

Goran Milaković, mag. ing. aedif. ^a

Davorin Piha, dipl. ing. građ. ^b,

Snježana Delaš, dipl. ing. građ. ^a

Tatjana Dovranić Kardaš, dipl. ing. građ. ^c,

Mišo Čičak, mag. ing. aedif. ^b

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska,
Goran.Milakovic@voda.hr, Snjezana.Delas@voda.hr

^b Hrvatske vode, Šetalište braće Radića 22, 35000 Slavonski Brod, Hrvatska,
davorin.piha@voda.hr, miso.cicak@voda.hr

^c Hrvatske vode, Ruđera Boškovića 11, 44000 Sisak, Hrvatska,
Tatjana.DovranicKardas@voda.hr



R 2.07.

ANALIZA RIZIKA OD POPLAVA URBANIH PODRUČJA USLIJED JAKIH OBORINA (PROJEKT STREAM)

**Nino Krvavica, Vlatko Roland, Ante Šiljeg, Bojana Horvat, Josip Rubinić,
Igor Ružić, Damir Bekić**

SAŽETAK: U Hrvatskoj i Europskoj uniji raste interes za predviđanjem i ublažavanjem poplava u urbanim područjima koje uzrokuju jake oborine. Zahvaljujući napretku računalnih sustava, daljinskog istraživanja i dostupnosti geoprostornih podataka visoke razlučivosti, analize opasnosti i procjene rizika od poplava provode se s višom razinom detaljnosti, točnosti i pouzdanosti. Ovaj rad predstavlja rezultate i zaključke međunarodnog projekta STREAM, u okviru kojeg su provedene analize opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava na šest pilot područja u Hrvatskoj. U okviru navedenog projekta izrađene su karte poplava za gradove Poreč, Gospić, Zadar, Biograd na Moru, Split i Metković. Za svako pilot područje provedene su analize oborinskog režima uz procjenu utjecaja klimatskih promjena, te je izrađen katastar povijesnih poplava. U svrhu procjene opasnosti i rizika od poplava, prikupljene su i generirane geoprostorne podloge visoke rezolucije, pri čemu je posebna pažnja posvećena izradi digitalnog modela terena i modela zemljišnog pokrova. Simulacije pluvijalnih poplava provedene su pomoću dvodimenzionalnog nestacionarnog modela površinskog toka. Konačni rezultat provedenih analiza su karte opasnosti i rizika od poplava za različite vjerojatnosti pojava ekstremnih oborina. Navedene karte osnovna su podloga za planove upravljanja rizicima od pluvijalnih poplava na regionalnoj i lokalnoj razini.

KLJUČNE RIJEČI: Upravljanje rizicima od poplava, Procjena rizika od poplava, Pluvijalne poplave, Rizik od poplava, Opasnost od poplava

ANALYSIS OF FLOOD RISK IN URBAN AREAS DUE TO HEAVY RAINFALL (STREAM PROJECT)

ABSTRACT: Both in Croatia and in the European Union, there is a growing interest in predicting and mitigating floods in urban areas caused by heavy rainfall. Assisted by advancements in computer systems, remote sensing technology, and the availability of high-resolution geospatial data, flood hazard analyses and risk assessments are conducted at a higher level of detail, accuracy, and reliability. The paper presents the results and conclusions of the international project STREAM, in which flood hazard and risk analyses for pluvial (rainfall-induced) floods were carried out in six pilot areas in Croatia. Within

this project, flood maps were created for the cities of Poreč, Gospić, Zadar, Biograd na Moru, Split, and Metković. For each pilot area, analyses of rainfall patterns were conducted, as well as the assessments of climate change impact. A historical flood register was also developed. In order to assess flood hazards and risks, high-resolution geospatial datasets were collected/generated, with special attention given to the development of digital terrain and land cover models. Simulations of pluvial floods were performed using a two-dimensional unsteady model of surface flow. The final outcomes of these analyses are flood hazard and risk maps for different occurrence probabilities of extreme rainfall events. These maps support flood risk management plans for pluvial floods at the regional and local levels.

KEYWORDS: Flood risk management, Flood risk assessment, Pluvial flooding, Flood risk, Flood hazard

1. UVOD

STREAM projekt pokrenut je u okviru programa prekogranične suradnje INTERREG V-A Italija - Hrvatska 2014. - 2020. sa ciljem unaprjeđenja sustava praćenja rizika i upravljanja rizikom od poplava uslijed jakih oborina i djelovanja mora (<https://programming14-20.italy-croatia.eu/web/stream>). Cilj projekta STREAM je doprinijeti povećanju sigurnosti projektnih pilot područja te smanjenju štetnih posljedica poplave uslijed jakih oborina i djelovanja mora. Specifični ciljevi projekta su postići bolje razumijevanje rizika od poplava uslijed jakih oborina i djelovanja mora, poboljšati sustav informiranja i uzbuñjivanja s ciljem smanjenja rizika te unaprijediti upravljanje rizicima kroz integraciju rezultata u planske dokumente.

Projekt STREAM sastoji se od pet međusobno povezanih i usklađenih radnih paketa, a to su ukratko: a) izrada katastra poplava, b) kartiranje opasnosti i rizika od poplava, c) uspostava sustav prognoziranja poplava, d) plan upravljanja rizicima od poplava i e) međunarodni upravni odbor. U ovome radu prikazuju se osnovni rezultati vezani uz kartiranje opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava na šest odabranih pilot područja u Republici Hrvatskoj, što uključuje šira područja gradova Poreča, Gospića, Zadra, Biograda na Moru, Splita i Metkovića. U okviru navedenih analiza izrađene su tri knjige: a) analiza oborina na pilot područjima, b) procjena opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina na pilot područjima te c) sveobuhvatna analiza urbanih poplava u Zadru te unaprjeđenje sustava prognoze poplava, koje su dostupne na web stranicama Hrvatskih voda (<https://voda.hr/hr/register-dokumentacije-planova-upravljanja-vodnim-podrucjima>).

2. MATERIJALI I METODE

Procjena rizika od poplava uslijed jakih oborina - pluvijalnih poplava - provedena je na šest pilot područja u skladu sa Zakonom o vodama (Narodne novine, br. 66/19, 84/21 i 47/23), Direktivom o poplavama (EC 2007/60/EZ) te Priručnikom o kartiranju poplava (EXCIMAP, 2007). Analiza rizika od poplava stoga uključuje analize opasnosti od poplava i analize ranjivosti na poplave.

Također, procjena rizika ima uporište u konceptualnom modelu izvor - put - receptor - štete (engl. *Source - Pathway - Receptor - Consequence*, SPRC), koji se često koristi u procesu procijene rizika od poplava s ciljem boljeg razumijevanja pojedinačnih elemenata

rizika i odnosa između svih relevantnih indikatora. Navedeni koncept definira vezu između opasnosti, ranjivosti i rizika kao linearnu funkciju od uzroka opasnosti, puta između nastanka opasnosti i receptora, karakteristika receptora do štetnih posljedica. U kontekstu pluvijalnih poplava, glavni uzrok opasnosti su kratkotrajne jake oborine i proces generiranja površinskog otjecanja oborina. Put od uzroka do receptora opisuje površinsko otjecanje oborinske vode. Receptori su subjekti i objekti izloženi opasnosti od poplava i potencijalno podložni štetnim posljedicama, dok se pojam štetne posljedice odnosi na sve negativne i neželjene procese kao što su štete na objektima (ekonomske posljedice), ozljede stanovništva i traume (socijalne posljedice) te onečišćenje vodnih resursa ili tla (okolišne posljedice).

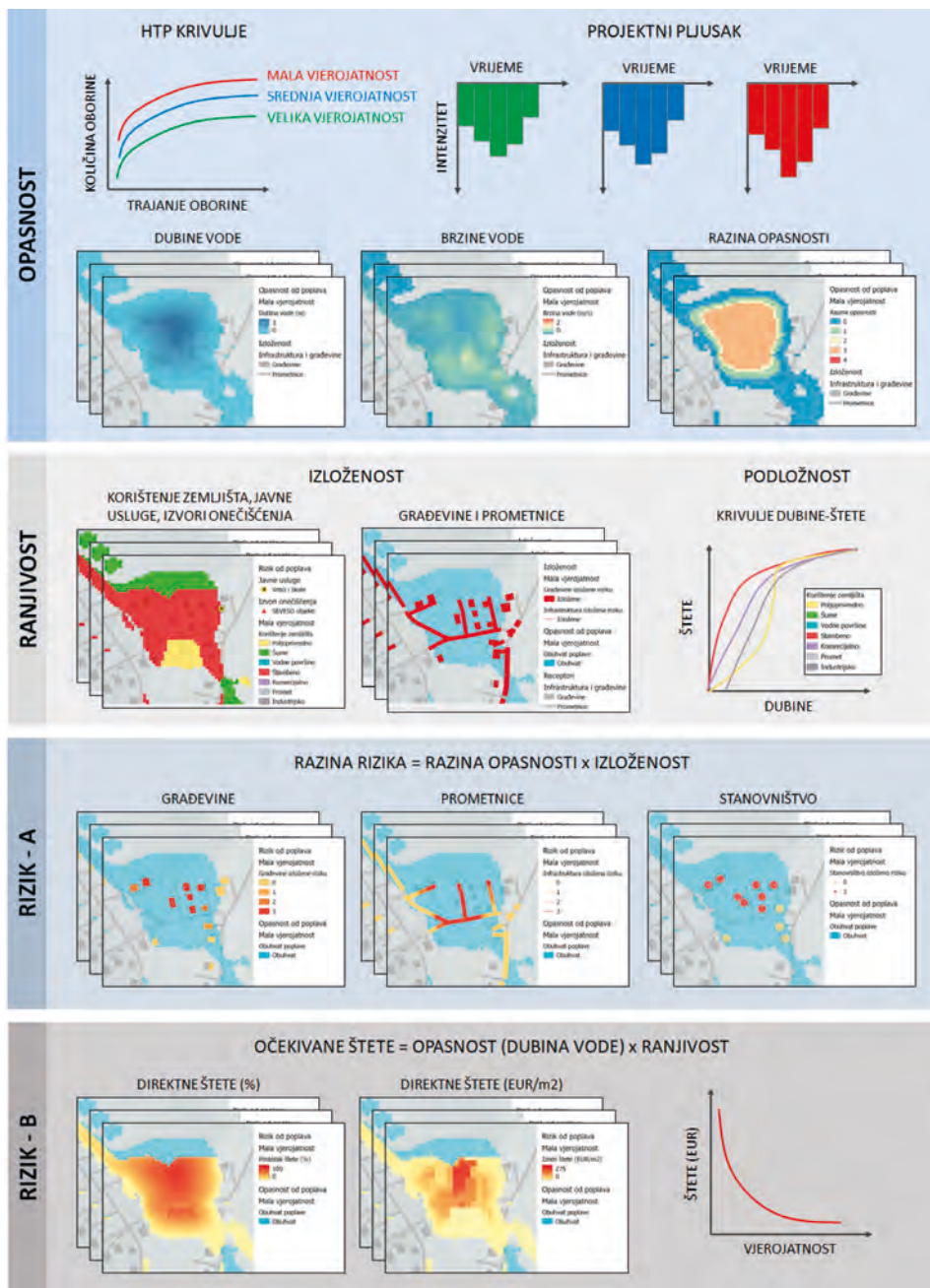
Pluvijalne poplave nastaju uslijed otjecanja jakih oborina, ali su neovisne o vodnim tijelima. Često se pod pojmom pluvijalne poplave podrazumijeva dva različita oblika poplava: a) urbane poplave i b) bujične poplave. Pritom, urbane poplave nastaju na urbaniziranim područjima i često su posljedica premašenja kapaciteta sustava za odvodnju u kombinaciji s visokim stupnjem izgrađenosti zemljišta. Bujične poplave nastaju na brdskim područjima ili strmim terenima, a karakterizira ih nagla pojava i velika brzina vode. Osnovni aspekt pluvijalnih poplava nije samo nedostatak odgovarajućeg sustava odvodnje, već na njih uvelike utječe nedostatan retencijski i infiltracijski kapacitet zemljišta.

U nastavku se daje sažeti opis odabrane metodologije za procjenu rizika od pluvijalnih poplava (slika 1). Procjena opasnosti od poplava prvenstveno uključuje određivanje obuhvata poplave te dubine i brzine vode. Uz to, definirana je i razina opasnosti na temelju kombinacije dubine, brzine i protoka vode koristeći SUFRI metodologiju (Escuder - Bueno i drugi, 2012). Svi navedeni parametri dobiveni su iz rezultata hidrološko - hidrauličkog modela. Osnovna podloga za navedene simulacije su digitalni model terena, model pokrova zemljišta te oborine definirane projektnim pljuskom za različite vjerojatnosti.

Analiza ranjivosti na poplave obuhvaća procjenu izloženosti i podložnosti poplavama. Izloženost prikazuje identificirane receptore koje se nalaze unutar obuhvata poplave za svaku promatranu vjerojatnost pojave jakih oborina, a računa se preklapanjem subjekata i objekata s kartama opasnosti od poplava (opseg poplava za svaki scenarij vjerojatnosti). Za procjenu podložnosti primijenjene su krivulje dubina - štete za svaku kategoriju korištenja zemljišta (Krvavica i drugi, 2023). Ove krivulje izražavaju relativnu ekonomsku štetu u odnosu na dubinu vode. U tu svrhu odabran je JRC model (Huizinga i drugi, 2017) koji pruža sveobuhvatni popis vrijednosti, šteta i funkcija dubine - štete korištenih u različitim zemljama EU. JRC model pokriva šest osnovnih kategorija korištenja zemljišta: stambene, komercijalne, industrijske, prometne, infrastrukturne i poljoprivredne, te uključuje troškove izgradnje za svaku kategoriju.

Kvalitativna procjena rizika od poplava provodi se preklapanjem izloženosti odabranih receptora s kartom razine opasnosti od poplava. Pritom je pretpostavljen direktan odnos između razine opasnosti i razine rizika za svaku vjerojatnost. Ovaj pristup daje prioritet kategoriji društvenog rizika od poplava nad ekonomskim štetama ističući potencijalne posljedice od poplava za građane, poput gubitka stabilnosti, ozljeda, smrtnih slučajeva i poremećaja u prometu (Krvavica i drugi, 2023). S druge strane, kvantitativna procjena rizika od poplava usmjerena je na procjenu potencijalnih šteta. Direktna šteta izračunava se kombiniranjem opasnosti od poplave (izražene kroz dubine vode) s kartom izloženosti. Za svaku kategoriju korištenja zemljišta, maksimalna potencijalna šteta korigira se krivuljom dubine - štete za izračunatu dubinu vode na toj lokaciji. Karte direktnih šteta za svaki

scenarij integriraju se upotrebom ponderiranog prosjeka kako bi se izrazile očekivane godišnje štete (EAD) u euro/m²/god.



Slika 1 Metodologija procjene opasnosti, ranjivosti i rizika od pluvijalnih poplava razvijena u okviru projekta STREAM.

Sve karte rizika integriraju se prostorno kako bi se dobila kvantitativna mjera rizika od poplava na razini sliva putem izračuna direktne štete, gustoće stanovništva, duljine cesta i broja izloženih zgrada za određeni raspon vjerojatnosti poplava.

Analize su provedene na tri razine složenosti i detaljnosti: a) makro razina koja obuhvaća cjelokupni sliv unutar kojeg se nalazi pilot područje, b) mezo razina koja obuhvaća samo urbanizirani dio pilot područja i c) mikro razina koja obuhvaća samo jedan podsliv odnosno gradsko naselje. Pritom sva tri područja su analizirana na makro razini, dok je na mezo i mikro razini obuhvaćen samo grad Zadar kao izdvojeno pilot područje.

Odabrana su tri scenarija, koja odgovaraju velikoj vjerojatnosti (povratni period 5 godina, vjerojatnost godišnjeg premašenja 20 %), srednjoj vjerojatnosti (povratni period 25 godina, vjerojatnost godišnjeg premašenja 4 %) te maloj vjerojatnosti (povratni period 100 godina, vjerojatnost godišnjeg premašenja 1 %).

2.1. Meteorološke podloge

Analiza oborina provedena je koristeći podatke s pet ombrografskih postaja vezanih uz odabrana pilot područja, za grad Poreč odabrana je postaja Poreč (1984. - 2020.), za grad Gospić postaja Gospić (1961. - 2020.), za gradove Zadar i Biograd na Moru postaja Zadar (1961. - 2020.), za grad Split postaja Split (1961. - 2020.) te za grad Metković postaja Ploče (1968. - 2020.). Analiza vjerojatnosti pojave maksimalne godišnje količine oborine na pet predmetnih lokacija provedena je pomoću opće razdiobe ekstrema (engl. *Generalized extreme value distribution*, GEV) za trajanja 10 do 60 minuta, 2, 4, 6, 12, 18 i 24 sata te 1 do 5 dana. Prilagodбом krivulja navedenim vjerojatnostima definirane su HTP i ITP krivulje za povratne periode 2, 5, 10, 25, 50 i 100 godina. Također je za svako pilot područje definiran projektni pljusak za različita trajanja i povratne periode koristeći modificiranu metodu prosječne varijabilnosti (Krvavica i Rubinić, 2020). Uz to, dan je sažeti prikaz trenutnih saznanja o utjecaju klimatskih promjena na značajke pojave kratkotrajnih jakih oborina.

2.2. Prostorne podloge

Najvažniji prostorni podaci za analizu opasnosti i rizika od poplava su digitalni model terena (DTM) te modeli korištenja zemljišta (LU) i zemljišnog pokrova (LC). Odabir ovih modela ovisi o potrebnoj točnosti i razini istraživanja. Na makro i mezo razini korišten je digitalni model reljefa dobiven fotogrametrijskom restitucijom od Državne geodetske uprave (DGU). Pritom je na makro razini DTM generiran prostornom interpolacijom vektorskih podataka u rezoluciji 5 m, dok je na mezo razini izrađen hibridni DTM rezolucije 1m uz integriranje vektorskih podataka o prometnicama i objektima. Na mikro razini je provedeno LiDAR snimanje sliva Vruljice približne površine 3 km² te je izrađen DTM rezolucije 50 cm.

Model zemljišnog pokrova korišten je kao podloga za hidrološko - hidraulički model, a izrađen je iz satelitskih snimaka u rezoluciji 5 m, pri čemu je klasificirana 21 klasa zemljišnog pokrova. Model korištenja zemljišta korišten je za procjenu rizika, a preuzet je iz Copernicus Land Service baze podataka, pri čemu su za makro razinu korišteni primarno Coastal Zone i Natura 2000 modeli, dok je za mikro razinu korišten Urban Atlas, koji ima veću točnost i detaljnost u odnosu na prethodno navedene modele. Uz to, iz

Copernicus Land Service baze podataka preuzet je i model gustoće nepropusnih površina rezolucije 10 m.

Iz LC modela dodatno su generirane dvije podloge bitne za hidrološko - hidrauličko modeliranje poplava. Karte Manningovog koeficijenta hrapavosti i CN brojeva koji definiraju infiltracijske karakteristike podloge prema NRCS metodologiji generirane su koristeći dostupne podatke iz literature (Krvavica i sur., 2023.).

Vektorski podaci o zgradama, objektima i prometnoj infrastrukturi preuzeti su iz *OpenStreetMap* (OSM) baze podataka, a podaci o stanovništvu od Državnog zavoda za statistiku (popis iz 2021.). Javni objekti poput hitnih službi, obrazovnih ustanova, prijevoza, groblja, itd. preuzeti su iz Google Maps baze podataka (pomoću *Google Earth Engine*) te su ručno korigirani. Industrijski pogoni (e-PRTR), SEVESO objekti, benzinske postaje i odlagališta, te zaštićena područja preuzeti su od Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja Republike Hrvatske (putem WFS usluge). Lokacije kulturne baštine preuzete su od Ministarstva kulture Republike Hrvatske, također putem javne WFS usluge.

2.3. Hidrološko - hidraulički model poplava

Simulacije poplava provedene su pomoću programa HEC - RAS 6.1 (Brunner, 2022), primjenom pristupa poznatog kao izravno modeliranje oborina (engl. *Rain - on - Grid*). U navedenom pristupu, hidrološki i hidraulički procesi poplave modeliraju se integralno koristeći nestacionarni 2D modelom površinskog otjecanja.

Za svaku razinu istraživanja odabrana je odgovarajuća veličina proračunske mreže s obzirom na očekivanu detaljnost proračuna i računalne zahtjeve. Na makro razini istraživanja odabrana je veličina ćelije od 20 m, na mezo razini 10 m, dok je na mikro razini odabrana ćelija veličine 5 m. Pritom je korišten tzv. *subgrid sampling* pomoću kojeg su zadržane stvarne karakteristike terena više rezolucije.

Zadana su tri rubna uvjeta: a) normalna dubina vode uz kopneni rub, b) jednolična razina vode uz morsku ili riječnu granicu, i c) prostorno jednolična oborina definirana projektnim pljuskom preko cijele 2D domene. Za proračun na makro razini korištena je metoda difuznog vala, dok je na mezo i mikro skali korištena metoda dinamičkog vala, odnosno potpune Saint - Venant jednadžbe s varijabilnim vremenskim korakom. Vrijeme simulacije usklađeno je s trajanjem oborine. Utjecaj sustava za odvodnju oborinskih voda zanezaren je na makro razini, dok je na mezo i mikro razini djelomično uključen na način da je modificirana propusnost prometnica u skladu s kapacitetom sustava odvodnje.

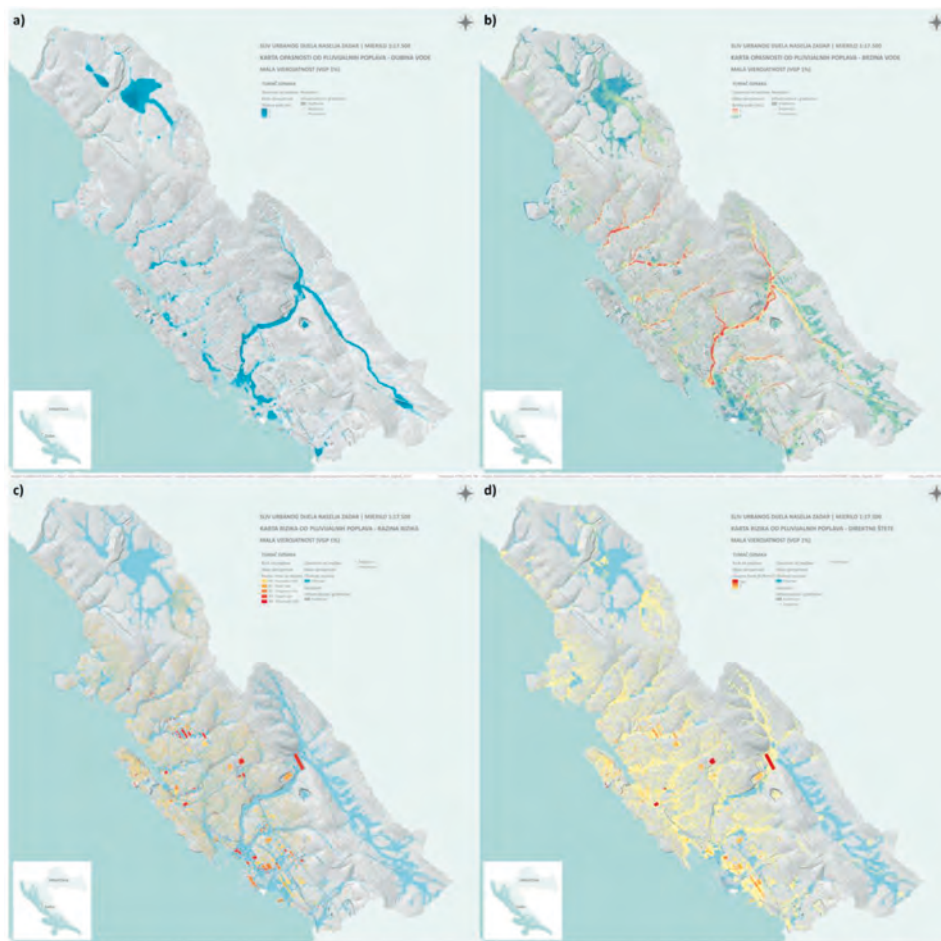
3. REZULTATI

U okviru projekta STREAM izrađene su 22 karte za svako pilot područje na makro razini, što uključuje kartu povijesnih poplava, devet karata opasnosti (karta dubine vode, brzine vode i razina opasnosti za tri različite vjerojatnosti), tri karte izloženosti poplavama za različite vjerojatnosti te tri karte rizika (karta razine rizika za stanovništvo, karta razine rizika za građevine i prometnu infrastrukturu te karta šteta od poplava za tri različite vjerojatnosti). Pored toga, za svako pilot područje, izrađena je i karta kritičnih podslivova za buduće detaljnije analize i plan upravljanja rizicima od poplava. Uz to, za pilot područje Zadra izrađene su karte opasnosti, izloženosti i rizika za mezo i mikro razini.

Na slici 2 dan je primjer karata opasnosti (dubine i brzine vode) i rizika od poplava (ra-

zina rizika i štete) za Zadar na mezo razini istraživanja. Sve karte su prikazane na podlozi digitalnog modela terena. Na slici 3 prikazan je uvećani detalj karata opasnosti od poplava (dubine vode i razine opasnosti) za Zadar na mikro razini istraživanja.

Treba napomenuti da su pored statičkih karata (PDF verzije karata prilagođene A2 veličini papira) izrađene i dinamičke karte u GIS okruženje koje omogućuju znatno detaljniji pregled rezultata poplava te njihovo uključivanje u druge planske dokumente.



Slika 2 Primjer karata opasnosti i rizika od poplava za Zadar na mezo razini: a) karta dubina vode, b) karta brzina vode, c) karta razine rizika i d) karta šteta od poplava.



Slika 3 Detalj rezultata na mikro razini u Zadru: a) dubine vode, b) razine opasnosti od poplava

ZAKLJUČAK

Aktivnosti provedene u okviru projekta STREAM znatno su unaprijedile razumijevanje i razinu izrade karata opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u Hrvatskoj. Treba napomenuti da su provedene analize koristile najnovija saznanja iz područja daljinskog istraživanja, statističke obrade oborina i računalnog modeliranja poplava. Također, korištene su sve trenutno dostupne javne baze podataka te su dane preporuke za odabir odgovarajućih prostornih podloga ovisno o razini istraživanja i kartiranja. Uz to, dane su smjernice vezane uz planiranje i projektiranje zelene infrastrukture i sustava za odvodnju oborinskih voda temeljenih na prirodnim rješenjima (engl. *Nature - based Solutions*).

Na temelju izrađenih karata opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava izrađeni su i planovi upravljanja rizicima od poplava za svako pilot područje. Sve provedene aktivnosti zasigurno će unaprijediti ne samo planske dokumente nego i dokumente višeg stupnja detaljnosti kao što su višegodišnji programi gradnje, studije, idejna rješenja, procjene utjecaja na stanje vodnih tijela u sklopu procjena utjecaja na okoliš kao i prostorno plansku dokumentaciju. Na temelju razrađene metodologije moguće je provesti analize rizika od pluvijalnih poplava na svim ostalim urbanim područjima u Hrvatskoj, što će omogućiti uključivanje ovog tipa poplava u sljedeći planski ciklus Plana upravljanja vodnim područjima koji sadrži i Plan upravljanja rizicima od poplava.

Kako bi se unaprijedile mogućnosti analize pluvijalnih poplava preporuča se korištenje digitalnog modela terena visoke razlučivosti generiranog iz LiDAR snimaka. Za preciznije i pouzdanije modeliranje pluvijalnih poplava preporuča se instalacija nekoliko meteoroloških postaja s automatskim ombrografima ujednačeno raspodijeljenim po slivu kako bi se dobila preciznija slika oborinskog režima. Također, analize opasnosti od poplava u urbanim područjima mogu se dodatno unaprijediti uključivanjem sustava za odvodnju otpadnih voda u spregnuti 1D / 2D hidraulički model. Konačno, problem pluvijalnih poplava mora se rješavati integralnim pristupom odvodnji oborinskih voda. Integralni pristup odvodnji znači maksimalno oponašati prirodne procese pomoću ekonomski prihvatljivijih rješenja od klasičnog sustava, s minimalnim utjecajem na okoliš, unutar sliva, kroz prikupljanje, usporavanje, retencioniranje, infiltraciju i evapotranspiraciju uz prirodno pročišćavanje voda prije nego se ispuste u okoliš.

LITERATURA

- [1] Brunner, G.W. (2021): *HEC - RAS 6.0 2D User's Manual*. USACE.
- [2] Escuder - Bueno, I., Castillo - Rodriguez, J. T., Perales - Momparler, S., Morales - Torres, A. (2011): *SUFRI methodology for pluvial and river flooding risk assessment in urban areas to inform decisionmaking*, SUFRI project, WP3, final report.
- [3] EXCIMAP (2007): *Handbook on good practices for flood mapping in Europe*, European exchange circle on flood mapping.
- [4] Huizinga, J., De Moel, H., Szewczyk, W. (2017): *Global flood depth-damage functions: Methodology and the database with guidelines* (No. JRC105688). Joint Research Centre (Seville site).
- [5] Krvavica, N., Rubinić, J. (2020): *Evaluation of design storms and critical rainfall durations for flood prediction in partially urbanized catchments*. *Water*, 12(7), 2044.
- [6] Krvavica, N., Šiljeg, A., Horvat, B., Panda, L. (2023): *Pluvial Flash Flood Hazard and Risk Mapping in Croatia: Case Study in the Gospić Catchment*. *Sustainability*, 15(2), 1197.

AUTORI

doc. dr. sc. Nino Krvavica ^a

Vlatko Roland ^b

izv. prof. dr. sc. Ante Šiljeg ^c

doc. dr. sc. Bojana Horvat ^d

dr. sc. Josip Rubinić ^e

izv. prof. dr. sc. Igor Ružić ^f

izv. prof. dr. sc. Damir Bekić ^g

^a Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, nino.krvavica@uniri.hr

^b Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju, Ulica Franje Tuđmana 24, Zadar, 23000, Hrvatska, vroland@unizd.hr

^c Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju, Ulica Franje Tuđmana 24, Zadar, 23000, Hrvatska, asiljeg@unizd.hr

^d Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, bojana.horvat@uniri.hr

^e Geo-5 d.o.o, Carera 50, 52 210 Rovinj, Hrvatska, rubinic.josip@gmail.com

^f Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, iruzic@uniri.hr

^g Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb, 10000, Hrvatska, damir.bekic@grad.unizg.hr



R 2.08.

PROCJENA RIZIKA OD POPLAVA MORA

**Nino Krvavica, Goran Lončar, Damir Bekić, Jadranka Šepić,
Mateo Gašparović, Darko Barbalčić**

SAŽETAK: U ovom radu prikazani su rezultati studije o upravljanju rizicima od poplava uzrokovanih visokim razinama mora u Hrvatskoj. Cilj studije bio je procijeniti opasnosti od poplava mora, izraditi prostorne podloge za karte opasnosti i rizika od poplava uzrokovanih visokim razinama mora za slijedeći planski ciklus upravljanja vodnim područjima te pružiti smjernice za smanjenje tih rizika i njihovo integriranje u postojeći okvir upravljanja rizicima od poplava. Studija je obuhvatila priobalne i prijelazne vode Republike Hrvatske, kao i more do granice s Italijom. Podaci o razinama mora prikupljeni su s glavnih mareografskih postaja u Hrvatskoj, a provedena je statistička analiza vjerojatnosti pojave visokih razina mora. Izrađen je digitalni model dubina mora i visine terena u priobalnom području te su razvijena tri numerička modela za procjenu ekstremno visokih razina mora, vjetrovnih valova i utjecaja mora na prijelazne vode. Simulacije su provedene za 18 scenarija uzimajući u obzir klimatske promjene. Rezultati analiza prikazani su kroz karte opasnosti i rizika od poplava mora za različite vjerojatnosti pojave visokih razina mora u sadašnjoj i budućoj klimi. Uz to izrađen je i katalog mjera za smanjenje rizika od poplava mora. Ovom studijom definirane su nove podloge i bitno unaprijeđen metodološki okvir za uključivanje relativno novog aspekta upravljanja rizicima od poplava uzrokovanih visokim razinama mora u plan upravljanja rizicima od poplava.

KLJUČNE RIJEČI: Plan upravljanja rizicima od poplava, Procjena rizika od poplava, Poplave od mora, Rizik od poplava, Opasnost od poplava

COASTAL FLOOD RISK ASSESSMENT

ABSTRACT: This paper presents the results of a flood risk management study related to high sea levels in Croatia. The aim of the study was to assess the risks of coastal flooding, create spatial data for coastal flood hazard and flood risk maps for the next water management planning cycle, and provide guidelines for mitigating these risks and integrating them into the flood risk management plan. The study covered the coastal and transitional waters of the Republic of Croatia, including the sea up to the border with Italy. Sea level data were collected from the main tide gauge stations in Croatia, and a statistical analysis of the probability of high sea level occurrences was performed. A digital model of sea

depths and terrain heights in the coastal area was created, and three numerical models were established to assess extreme high sea levels, wind waves, and sea impacts on transitional waters. The simulations were carried out for 18 scenarios, taking climate change into consideration. The results of the analyses are presented through coastal flood hazard and flood risk maps for different probabilities of high sea level occurrences in both current and future climates. Additionally, a catalogue of measures to reduce the risk of sea flooding was created. This study has defined new foundations and significantly improved the methodological framework for incorporating a relatively new aspect of coastal flood risk management in the flood risk management plan.

KEYWORDS: Flood risk management plan, Flood risk assessment, Coastal flooding, Flood risk, Flood hazard

1. UVOD

Hrvatska već duže vrijeme upravljanje rizicima od poplava usklađuje s EU Direktivom o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima, a cjelokupno upravljanje vodama s EU Okvirnom direktivom o vodama. Direktivama su preuzete i obaveze izrade, u šest godišnjim planskim ciklusima, karata opasnosti od poplava, karata rizika od poplava te Plana upravljanja vodnim područjima koji sadrži i plan upravljanja rizicima od poplava. Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2022. predvidio je unaprjeđenje postojećih podloga te definiranje niza relevantnih aspekata upravljanja poplavnim rizicima uzrokovanih visokim razinama mora usklađenih s planskim okvirom. Radi toga je u sklopu projekta OPKK - KK.05.2.1.07.0001 - „VEPAR“ izrađena Studija upravljanja rizicima od poplava mora, čiji rezultati će biti uključeni u karte opasnosti od poplava i planske dokumente slijedećeg planskog ciklusa, a predstavljaju se u ovom radu.

Sjeverna i istočna obala Jadranskog mora su pod stalnom prijetnjom od poplava izazvanih ekstremno visokim razinama mora. Najpoznatije i najbolje istražene su pojave visokih razina mora kod Venecije poznate pod lokalnim nazivom „acqua alta“ (Cavaleri i drugi, 2020.). Iako manje istraživane i manje poznate, poplave izazvane ekstremno visokim razinama mora javljaju se i na istočnoj, odnosno hrvatskoj obali jadranskog mora. U razdoblju od 1990. - 2018. godine registrirano je 47 poplava, a uočeno je da poplave podjednako pogađaju čitav hrvatski dio obale Jadranskog mora. Većina poplava izazvana je sinoptičkim atmosferskim djelovanjem (olujni uspori), dok se manji broj događaja potvrđeno može smatrati meteorološkim tsunamijima. Poplave na obalama Jadranskog mora izazvane olujnim usporima u pravilu nastaju kada se nad područje Jadrana nadvije duboka ciklona (najčešće nastala u Genovskom zaljevu). Uslijed inverznog barometarskog efekta (podizanje razine mora za ~ 1 cm za svako sniženje tlaka zraka od 1 hPa) i napuhivanja mora prema sjevernoj i istočnoj obali Jadrana zbog puhanja vjetrova južnog do jugoistočnog smjera („jugo“) dolazi do značajnog podizanja razine mora na sjevernoj te na istočnoj obali Jadranskog mora. Izuzev sinoptičkih procesa (odnosno prolaska ciklona nad Jadranom) i dodatni procesi sudjeluju u pojavi ekstremno visokih razina mora. Ti dodatni procesi su oscilacije razine mora na periodima duljim od 10 dana te plimne oscilacije. Na periodima duljim od 10 dana na razinu mora djeluju sporo-propagirajući atmosferski planetarni valovi koji mogu podignuti pozadinsku razinu mora i za više od 30 cm te na taj način stvaraju pogodne uvjete za pojavu poplava uslijed prolaza ciklone (Arabelos i drugi, 2011.).

Za procjenu utjecaja klimatskih promjena na ekstremno visoke razine mora duž jadranske obale moguće je koristiti rezultate numeričkih klimatoloških oceanografskih modela za područje Jadranskog mora koji daju procjenu porasta visine mora. Odabrani relevantan srednji modelirani porast razine mora (srednja vrijednost porasta razine mora u promatranom razdoblju) nadodaje se na prethodno izračunate raspodjele ekstremnih razina mora te se time dobivaju očekivane ekstremne razine mora u budućem razdoblju, uz uvažene klimatske promjene. Tijekom posljednjih 120 godina bilježi se kontinuiran rast razine mora na globalnoj razini, uz ubrzanje rasta tijekom posljednjih nekoliko desetljeća. Procjena porasta bazirana je na mareografskim i satelitskim (od 1993.) mjerenjima. Tradicionalno se prognozira porast razine mora (i druge klimatske promjene) za četiri scenarija buduće koncentracije stakleničkih plinova: primjerice RCP2.6 (smanjenje emisije stakleničkih plinova, počevši od 2020. do 2100. - s dolaskom na nulu 2100. godine) ili RCP8.5 (povećanje emisije stakleničkih plinova). Na području Jadrana očekuje se srednji porast razine mora u iznosu od 20 do 80 cm do kraja 21. stoljeća.

2. MATERIJALI I METODE

Za potrebe detekcije zona poplavlivanja pri ekstremno visokim razinama mora s doprinosom gravitacionih vjetrovnih valova i utjecajem ekstremnih uvjeta mora na prijelazne vode (ciljevi studije), proveden je niz numeričkih modelskih simulacija podijeljenih u tri cjeline: a) numeričko modeliranje ekstremno visokih razina mora; b) numeričko modeliranje ekstremnih vjetrovnih valova; c) numeričko modeliranje utjecaja ekstremnih uvjeta mora na prijelazne vode. Stoga je analizirano 18 scenarija za provedbu numeričkih analiza s kojima se simulira potencijal plavljenja priobalja putem poplava od mora: a) scenarij male (povratno razdoblje 1000 godina), srednje (povratno razdoblje 100 godina) i velike (povratno razdoblje 25 godina) vjerojatnosti, sa i bez utjecaja klimatskih promjena (ukupno 6 scenarija); b) scenariji očekivanih mjesečnih stanja mora za planirano 6 godišnje razdoblje (12 scenarija).

Obzirom na potrebe razvoja sustava upravljanja rizicima od poplava mora, ciljeva same studije i provedbe željenih numeričkih simulacija pribavljene su sljedeće podloge:

- podaci o razinama mora sa mareografskih postaja Rovinj, Bakar, Zadar, Split, Ploče, Dubrovnik, Golubinka, Prosika, Ustava ušće (Mala Neretva), s kojih su prikupljene izmjerene razine mora sa satnom vremenskom razlučivošću tijekom razdoblja od početka 1990. godine do kraja 2019. godine, ili od početka rada mareografa do kraja 2019. godine,
- podaci o dubinama mora (EU verzija batimetrije EMODnet za dubokovodno područje te satelitska batimetrija na bazi snimaka Sentinel-2 za plitkovodno područje) i visinama nadmorja do 10 m n.m. u prostornoj rezoluciji 5m x 5m (iz DGU fotogrametrijske restitucije), uključujući infrastrukturne elemente (prometnice) u obalnom dijelu,
- podaci geodetskog snimka geometrije korita za područja prijelaznih voda (Dragonja, Mirna, Raša, Rječina, Zrmanja, Krka, Jadro, Cetina, Neretva i Ombla),
- različiti prostorni podaci (podmorski ispusti, uzgajališta, sedimentna obilježja podmorja, nasipavanje morskih plaža, lučka infrastruktura, veći industrijski kompleksi, područja eksploatacije ugljikovodika, izgrađenost obalne linije, itd.).

2.1. Numeričko modeliranje ekstremno visokih razina mora

Određivanje očekivane ekstremno visoke razine mora izazvane atmosferskim djelovanjem za 18 usvojenih scenarija (modeliranje ekstremno visokih razina mora) provedeno je kroz dva metodološka koraka: a) analiza mjerenih nizova razine mora (prikupljanje / kontrola kvalitete podataka, procjena plimnog signala te određivanje reziduala, procjena prostorne i vremenske razdiobe ekstremno visokih razina mora, izračun povratnih perioda za scenarij male, srednje i velike vjerojatnosti, sa i bez utjecaja klimatskih promjena za svaku postaju, procjena očekivanih srednjih mjesečnih stanja za svaku postaju, odabir situacija za kojih su razine mora bile najviše na pojedinim postajama, odnosno na određenim dijelovima obale); b) numeričko modeliranje (prikupljanje podataka prikladnog atmosferskog modela koji će se koristiti za forsiranje numeričkog oceanografskog modela, prikupljanje podataka razine mora na otvorenoj domeni modela (Otrant), a koji će se koristiti kao rubni uvjeti za numerički oceanografski model, numeričko modeliranje odabranog broja ekstremnih situacija korištenjem numeričkog oceanografskog modela, usporedba mjerenih i modeliranih podataka, korekcija modeliranih podataka prema mjerenjima za scenarij srednje i male vjerojatnosti te dobivanje vrijednosti ekstremno visokih razina mora za scenarij male, srednje i velike vjerojatnosti bez i sa utjecajem klimatskih promjena, određivanje očekivanih mjesečnih stanja mora). Provedba prethodno navedenih koraka analize (pod a) rezultirala je definiranjem vrijednosti ekstremno visokih godišnjih rezidualnih razina mora za scenarij male, srednje i velike vjerojatnosti poplavljiivanja na pozicijama mareografskih stanica (tablica 1). Očekivani porast srednje razine mora (+ 60 cm do 2100. godine prema IPCC6 izvještaju iz 2021. godine, nadodati na iznesene vrijednosti u tablici 1) uvelike nadmašuje mogući utjecaj promjene atmosferskog forsiranja.

Tablica 1. Rezidualne razine mora za povratne periode od 25 (velika vjerojatnost), 100 (srednja vjerojatnost) i 1000 (mala vjerojatnost) godina - bez utjecaja klimatskih promjena.

Period	25 godina	100 godina	1000 godina
Postaja	Razina mora (cm)	Razina mora (cm)	Razina mora (cm)
Rovinj	91.8	100.9	113.7
Bakar	98.8	113.5	138.1
Golubinka	81.3	90.0	102.7
Zadar	82.5	93.0	109.3
Prosika	76.0	85.3	99.5
Split	69.5	76.4	86.4
Ploče	74.9	85.6	103.8
Ustava ušće niz. (Mala Neretva)	69.0	76.8	88.5
Dubrovnik	59.8	65.5	73.4

Za modeliranje odgovora mora, odnosno ekstremno visokih vodostaja, koristi se oceanografski model SCHISM (<http://ccrm.vims.edu/schismweb/>; Zhang i drugi., 2016) forsiran površinskim poljima tlaka zraka i u i v komponente vjetra dobivenima iz opisanog modela ALADIN/HR.

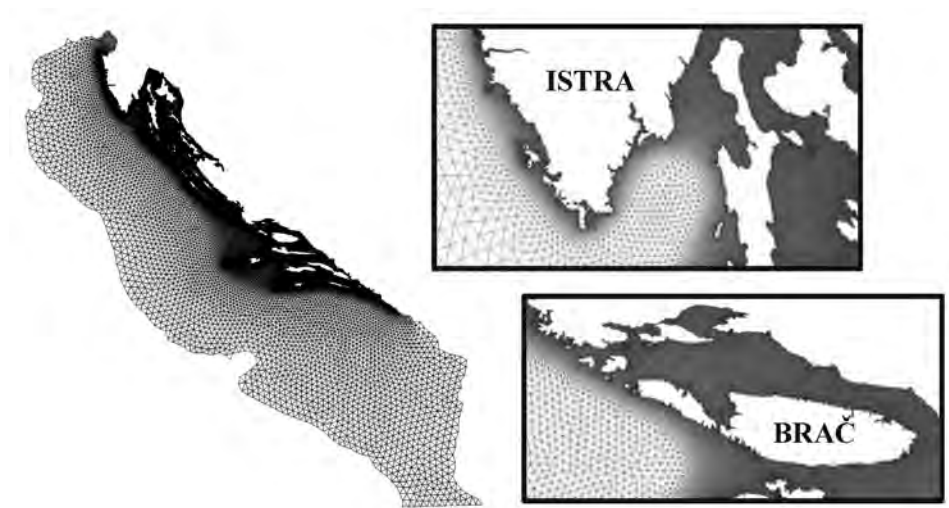
Modelirane ekstremno visoke razine mora uspoređuju se s ekstremno visokim razinama mora mjenjenim na mareografskim postajama. Za svaku postaju određuje se, na temelju svih modeliranih situacija, BIAS (odstupanje) i RMS (srednja kvadratna pogreška) modela - te su izračunati korekcijski faktori za svaku postaju. Korekcijski faktori interpolirani su na čitavu hrvatsku obalu Jadrana te je sukladno tome primijenjen na modelirane razine mora. Isto rezultira realističnijim (tj. korigiranim) ekstremno visokim razinama mora duž čitave hrvatske obale Jadrana. S obzirom na to da je za poplavljanje različitih dijelova obale Jadrana u pravilu odgovorna drugačija sinoptička situacija, kao ekstremno visoka modelirana razina mora odabire se za svaku točku obale najviša modelirana razina mora, neovisno o sinoptičkoj situaciji koja je poslužila za forsiranje. Nadalje, pretpostavljeno je da za svaku točku obale vrijedi raspodjela ekstremno visokih razina mora kakva je dobivena iz mareografskih podataka.

Napravljen je niz modelskih simulacija pri kojima je oceanografski model SCHISM forsiran poljima tlaka zraka i vjetra dobivenima iz atmosferskog modela ALADIN. Rezultati simulacija dobiveni SCHISM modelom su uspoređeni s mjerenjima na mareografskim postajama - postignuto je zadovoljavajuće slaganje - te je zaključeno da se modelske simulacije mogu koristiti za reprodukciju prostorne razdiobe ekstremno visokih razina Jadranskog mora te za izračun povratnih perioda.

2.2. Numeričko modeliranje ekstremnih valova

Vezano uz ciljeve studije usvojena su dva kritična sektora puhanja vjetra i generiranja valova djelovanjem tih vjetrova, sektor „juga“ (101.25° - 191.25°) i „lebića“ (191.25° - 270°). Za forsiranje modela valnog generiranja i valnih deformacija korišteni su podaci o dinamici polja vjetra iz modela Aladin - HR za razdoblje 1992. - 2001. u prostornoj rezoluciji 4 km i vremenskoj rezoluciji 3 sata. Statističkom obradom polja vjetra dobivene su maksimalne godišnje brzine vjetra za područje sjevernog, srednjeg i južnog Jadrana po godinama za razdoblje 1992. - 2001., a na dobivenom statističkom uzorku provedena je daljnja analiza vjerojatnosti pojave za PP - 25, 100 i 1000 godina primjenom troparametarske Weibull distribucije za sektore SE i SW (nehomogena i stacionarna polja vjetra iznad Jadranskog bazena). Rezultati na području otvorenog mora verificirani su usporedbom sa rezultatima mjerenja na nekoliko valografskih postaja (Lončar i drugi, 2010.), s rezultatima iz baze podataka Fugro OCEANOR o površinskim valovima u Jadranskom moru za razdoblje 1992. - 2016., s rezultatima prezentiranim u radu Ocvirk (2010), te s rezultatima prezentiranim u izrađenim vjetrovalnim klimama za niz akvatorija i lokacija u kanalskom sustavu istočnog Jadrana.

Usvojena je modelska prostorna domene prikazana na slici 1., a korišten je model SWAN (Holthuijsen, 2007.), verzija Cycle III - 41.31A. Na slici 1 prikazana je i prostorna diskretizacija modelske domene s triangularnim ćelijama (nestrukturirana proračunska mreža s 490.000 elemenata).



Slika 1. Prostorna domena modela valnog generiranja i valnih deformacija, te prostorna diskretizacija modelske domene sa triangularnim ćelijama

2.3. Numeričko modeliranje utjecaja ekstremnih uvjeta mora na prijelazne vode

Analizirane su i priobalne rijeke u Hrvatskoj s ciljem individualne kvantifikacije utjecaja podizanja razine mora i poplava mora na promjene u salinitetu, odnosno na dubinu i duljinu prodora slane morske vode duž korita priobalnih rijeka. Intenzitet miješanja ovisi o vanjskim djelovanjima s kopna i mora, kao što su plimne oscilacije, valovi, protoci rijeka te geometrija korita. Prijelazne vode na svim rijekama jadranskom slivnog područja mogu se kategorizirati kao izrazito uslojene (slani klin).

Modeliranje dvoslojnog toka u prijelaznim vodama uslijed ekstremnih razina mora provodi se prema prethodno opisanih 18 scenarija, pri čemu je svaki scenarij definiran kombinacijom tri hidrološka parametra: a) razine mora (nizvodni rubni uvjet), b) protoka slatke vode (uzvodni rubni uvjet) i c) relativne razlika gustoće slatke i slane vode. Pritom, gustoća slatke i slane vode određuje se iz vrijednosti temperature i saliniteta vode. U skladu s navedenim, rubni uvjeti modela dvoslojnog toka za osnovnih šest scenarija određeni su prvenstveno ekstremnim visokim razinama mora povratnog razdoblja 1.000 godina (mala vjerojatnost), 100 godina (srednja vjerojatnost) i 25 godina (velika vjerojatnost), sa i bez utjecaja klimatskih promjena, koji su preuzeti iz rezultata hidrodinamičkog modela ekstremnih razina mora, odnosno iz ćelije rastera najbliže ušću svakog od deset područja. Kao mjerodavne vrijednosti temperature i saliniteta mora usvajaju se srednji godišnji saliniteti izmjereni na lokacijama koje su najbliže pojedinom ušću. Utjecaj klimatskih promjena u predmetnim analizama razmatra se samo za razine mora, stoga su vrijednosti temperature i saliniteta mora usvojene kao konstantne za svih šest osnovnih scenarija. Rubni uvjeti modela dvoslojnog toka za preostalih 12 scenarija definiraju se na sličan način kao i za osnovnih šest scenarija, ali za mjesečna stanja razine mora, protoka slatke vode te temperatura i saliniteta.

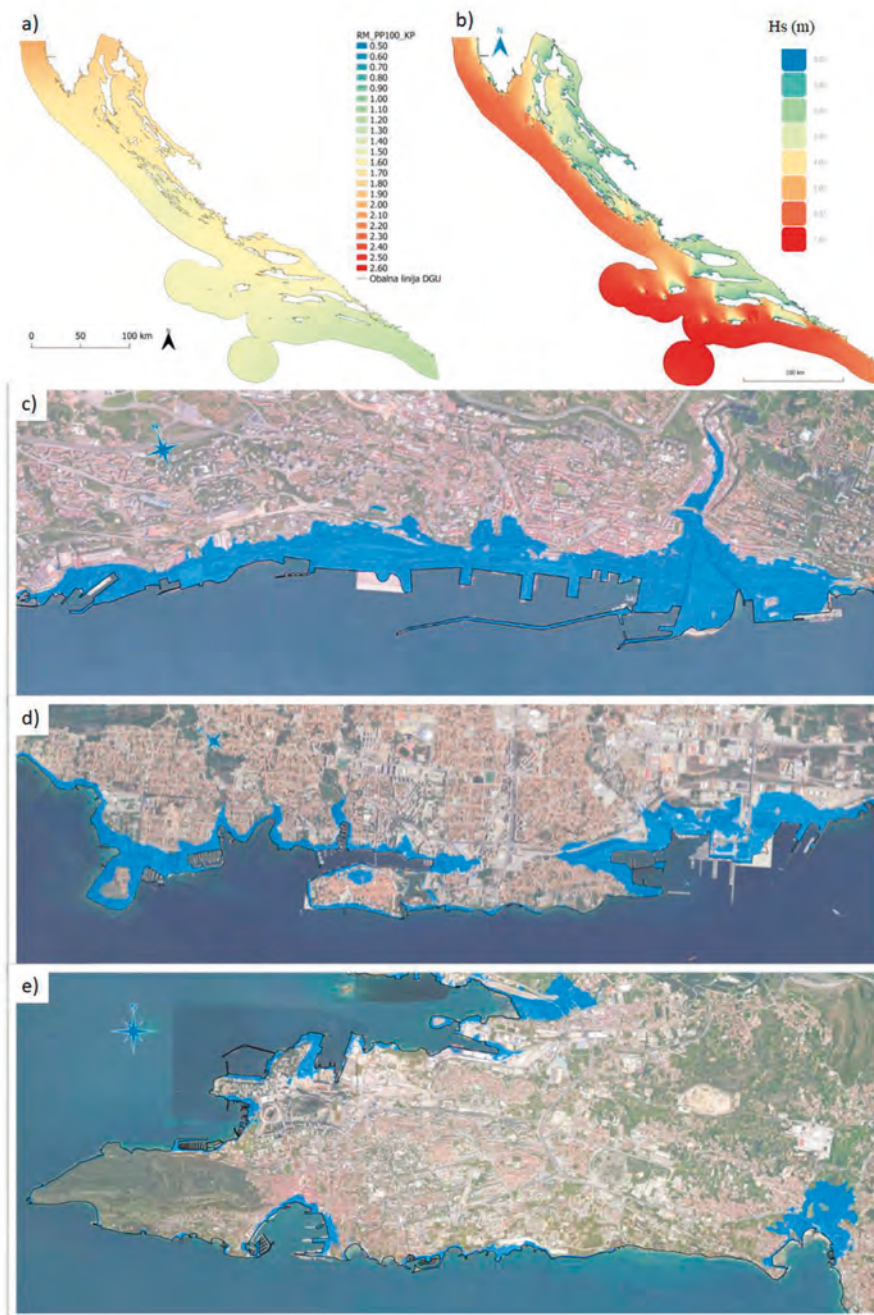
Pri procjeni maksimalnih duljina prodora slane morske vode, pretpostavlja se da dominantan utjecaj imaju visoke razine mora, a za protok slatke vode usvaja se dnevni protok trajanja 95 % s odgovarajuće hidrološke postaje kao reprezentativna vrijednost malih voda (iste vrijednosti se koriste za svih šest scenarija). Modeliranje procjene prodora slane vode u priobalnim rijekama provedeno je računalnim programom STREAM 1D (Krvavica i Ružić, 2020). Nakon što je uspostavljen model za svako pojedino područje prijelazne vode, provedena je kalibracija, a kalibrirani modeli validirani su usporedbom s mjerenjima, pri čemu se kvantificirala pouzdanost i točnost modela.

3. REZULTATI MODELSKIH SIMULACIJA

Rezultati simulacija provedenih s numeričkim modelima daju procjenu anomalije morske razine (rasterski podaci 200 m x 200 m, slika 3a), karakteristike gravitacionih vjetrovnih morskih valova (značajne valne visine, spektralni vršni periodi, incidentni smjerovi ; rasterski podaci 200 m x 200 m, slika 3b), područja plavljenja (rasterski podaci 5 m x 5 m, slike 3 c,d,e) te utjecaja ekstremnih razina mora na riječne vodotoke u domeni prijelaznih voda (slika 2).



Slika 2. Prostorna raspodjela dubine razdjelnice između slojeva slane i slatke vode na rijeci Neretvi (PP = 1000 godina uz utjecaj klimatskih promjena).



Slika 3. Polje ekstremnih razina mora za $PP = 100$ g. (a), polje značajnih valnih visina pri djelovanju vjetra „juga“ za $PP = 100$ g. (b) i područje plavljenja u gradovima Rijeka (c), Zadar (d) i Split (e) za scenarij male vjerojatnosti ($PP = 1.000$ g.) s klimatskim promjenama

ZAKLJUČAK

Prezentirana je metodologija uspostave numeričkih modela za procjenu ekstremno visokih razina mora, valnog generiranja i valnih deformacija u uvjetima ekstremne vjetrovne klime te utjecaja ekstremnih razina mora na prijelazne vode, s ciljem provedbe simulacija u sklopu studije o upravljanju rizicima od poplava uzrokovanih visokim razinama mora u priobalnim i prijelaznim vodama Republike Hrvatske. Temeljem prikupljenih prostornih podloga i vremenskih serija, statističke obrade prikupljenih podataka i provedenih numeričkih simulacija izrađene su karte (polja ekstremnih razina mora, značajnih valnih visina, vršnih spektralnih perioda i smjera valovanja, te područja plavljenja i prostorne raspodjele dubine razdjelnice između slojeva slane i slatke vode u 10 priobalnih rijeka) odgovarajućih rezolucija (rasteri u GIS sučelju) na području teritorijalnog mora Republike Hrvatske.

Simulacije su provedene za 18 scenarija: a) scenarij male (PP = 1.000 g.), srednje (PP = 100 g.) i velike (PP = 25 g.) vjerojatnosti, sa i bez utjecaja klimatskih promjena (ukupno 6 scenarija); b) scenariji očekivanih mjesečnih stanja mora za planirano 6 godišnje razdoblje (12 scenarija). I na kraju, studijom je definiran niz podloga od izuzetnog značaja za unaprjeđenje upravljanja rizicima od poplava i to prvenstveno bitno pouzdanije i preciznije karate opasnosti od poplava uslijed visokih razina mora. Provedene su i obrade koje su značajne za upravljanje stanjem voda kao što je analiza dinamike prijelaznih voda i stanje izgrađenosti obale. Sve navedeno će suštinski unaprijediti ne samo planske dokumente nego i dokumente većeg stupnja detaljnosti kao što su višegodišnji programi gradnje, studije, idejna rješenja, procjene utjecaja na stanje vodnih tijela u sklopu procjena utjecaja na okoliš kao i prostorno plansku dokumentaciju jer se podaci iz Plana upravljanja vodnim područjima već rutinski koriste za navedene svrhe. Pri svemu tome, treba voditi računa i o potrebi novelacije studije jer je Jadransko more jedan od najznačajnijih resursa kojim raspolaže Hrvatska, opterećeno je značajnim antropogenim utjecajima, uključujući i klimatske promjene a količina i kvaliteta dostupnih podataka potrebnih za analize i donošenje odluka se povećava.

LITERATURA

- [1] Arabelos, D. N., Papazachariou, D. Z., Contadakis, M. E., Spatalas, S. D. (2011.): *A new tide model for the Mediterranean Sea based on altimetry and tide gauge assimilation*, Ocean Science, 7, 429-444.
- [2] Cavaleri, L., Bajo, M., Barbariol, F., Bastianini, M., Benetazzo, A., Bertotti, L., Chiggiato, J., Ferrarin, C., Trincardi, F., Umgiesser, G. (2020.): *The 2019 flooding of Venice and its implications for future predictions*, Oceanography, 33, 42-49.
- [3] Holthuijsen, L.H. (2007): *Waves in Oceanic and Coastal Waters*, Cambridge University Press, Cambridge, 387 str.
- [4] Krvavica, N., Ružić, I. (2020): *Assessment of sea-level rise impacts on salt-wedge intrusion in idealized and Neretva River Estuary*. Estuarine, coastal and shelf science, 234, 106638, 13 doi:10.1016/j.ecss.2020.106638.
- [5] Lončar, G., Ocvirk, E., Andročec, V. (2010): *Usporedba modeliranih i mjerenih površinskih vjetrovnih valova*, Građevinar, 62(3), 45-55.

- [6] Zhang, Y., Ye, F., Stanev, E.V., Grashorn, S. (2016): *Seamless cross-scale modeling with SCHISM*, Ocean Modelling, 102, 64-81.

AUTORI

doc. dr. sc. Nino Krvavica ^a

prof. dr. sc. Goran Lončar ^a

izv. prof. dr. sc. Damir Bekić ^a

izv. prof. dr. sc. Jadranka Šepić ^b

izv. prof. dr. sc. Mateo Gašparović ^c

dr. sc. Darko Barbalić ^d

^a Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, nino.krvavica@uniri.hr; goran.loncar@grad.unizg.hr; damir.bekic@grad.unizg.hr

^b Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet, R. Boškovića 33, Split, 21000, Hrvatska, jadranka.sepic@pmfst.hr

^c Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb, 10000, Hrvatska, mateo.gasparovic@geof.unizg.hr

^d Hrvatske vode, Ul. Grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska, darko.barbalic@voda.hr



R 2.09.

ANALIZA UGROŽENOSTI RANJIVIH NASELJA PRIMORSKO - GORANSKE ŽUPANIJE OD OBALNOG PLAVLJENJA MOREM

**Andrea Tadić, Gorana Ljubičić, Vedrana Petrović,
Dado Jakupović, Nino Krvavica, Igor Ružić**

SAŽETAK: Ubrzani porast morske razine ima ozbiljne negativne posljedice, uključujući plavljenje tijekom visokih plima, salinizaciju slatkih voda, eroziju i štete uzrokovane obalnim plavljenjem. U 2020. provedeno je istraživanje o ranjivosti obalnog područja Primorsko - goranske županije (PGŽ) zbog podizanja razine mora. Pokazalo se da bi s podizanjem razine mora za 60 cm, oko 30 % obalne linije Primorsko - goranske županije bilo poplavljeno, posebno niska naseljena područja. Na temelju rezultata ranjivosti izabrana su četiri ugrožena naselja za detaljnije analize plavljenja: Cres, Rab, Punat i Volosko. Metodologija za analizu obalnog plavljenja temeljila se na preciznim geodetskim podlogama - trodimenzionalnim oblacima točaka. Analizirane su različite razine podizanja mora i njihovi učinci na plavljenje. Rezultati su pružili informacije o dubinama vode tijekom plavljenja i propagaciji valova po plavljenim površinama. Cres i Punat su najviše ugroženi, s povećanjem dubine plavljenja i visine valova kao glavnim problemima. Međutim, u Puntu postoji veća otpornost zbog odmaka gradnje od obalne linije. Volosko ima manji broj ugroženih građevina, ali zaštitne mjere su potrebne kako bi se smanjilo zapljuskivanje valova na sjevernom dijelu naselja. Analize su potvrdile ranije zaključke i istaknule potrebu za multidisciplinarnim pristupom planiranju kako bi se smanjili negativni utjecaji klimatskih promjena. Ovi rezultati pružaju osnovu za zaštitu obalnih područja i prostorno planiranje.

KLJUČNE RIJEČI: Klimatske promjene, Obalna ranjivost, Obalno plavljenje, Oblaci točaka, Porast morske razine, Prostorno planiranje

ANALYSIS OF SETTLEMENT VULNERABILITY TO COASTAL FLOODING IN THE PRIMORJE - GORSKI KOTAR COUNTY

ABSTRACT: Accelerated sea level rise has serious negative consequences, such as flooding during high tides, salinization of freshwater, erosion, and damage from coastal flooding. In 2020, a vulnerability assessment for the coastal area of the Primorje - Gorski Kotar County to sea level rise was conducted. It showed that a 60 cm sea level rise would cause flooding of about 30 % of the County's coastline, especially low - lying residen-

tial areas. Based on the assessment results, four vulnerable settlements were selected for more detailed flooding analyses: Cres, Rab, Punat and Volosko. The methodology was based on precise geodetic data - 3D point clouds. Different sea level rise scenarios and their impact on flooding were analysed. The results provided information on water depths during flooding and wave propagation across flooded areas. Cres and Punat are the most vulnerable, with greater flooding depths and wave heights as their main challenges. Punat, however, is more resilient due to a larger distance of buildings from the coastline. In Volosko, there is a smaller number of vulnerable buildings, although protective measures are needed to reduce the impact of waves lapping against the northern part of the settlement. The analyses confirmed the previous conclusions and emphasized the need for a multidisciplinary planning approach to mitigate the negative impacts of climate change. These results serve as a basis for coastal protection and spatial planning.

KEYWORDS: Climate change, Coastal vulnerability, Coastal flooding, Point clouds, Sea level rise, Spatial planning

1. UVOD

Ubrzani porast razine mora i promjene u klimi predstavljaju ozbiljnu prijetnju za obalne zajednice, ekosustave, infrastrukturu i ekonomiju diljem svijeta. Obalni gradovi su posebno ranjivi zbog koncentracije ljudi i resursa u uskim priobalnim područjima, a sve veći troškovi zaštite obalnih naselja postaju sve očitiji (IPCC, 2023). Kako bi se suočili s tim izazovima, potrebno je implementirati strategije prilagodbe klimatskim promjenama. Klimatske promjene već su vidljive u mnogim sektorima, uključujući ekstremne vremenske događaje koji često uzrokuju ozbiljne štete i gubitke. U Republici Hrvatskoj, iako dosad nije došlo do značajnih šteta povezanih s klimatskim promjenama, postoji potreba za boljim planiranjem i prilagodbom. Nedostatak resursa, sudjelovanje privatnog sektora i javnosti, kao i nedostatak financijskih sredstava predstavljaju prepreke učinkovitoj prilagodbi (Republika Hrvatska, Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2020). U novom izvješću Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (IPCC, 2023), naglašena je ključna uloga adaptacije u smanjenju ranjivosti na klimatske promjene.

Ovo istraživanje nastavlja procjenu ranjivosti iz prve faze projekta kojim se analizirala ranjivost obale cijele Primorsko - goranske županije na razini 1 : 25.000 (Ružić i drugi, 2022). Naglasak je stavljen na potrebu boljih podloga za detaljnije i preciznije analize te na važnost individualnog pristupa svakoj ugroženoj lokaciji radi donošenja adekvatnih mjera obrane od nepovoljnih posljedica porasta razine mora. U skladu s tim, ovim projektom detaljno su analizirana područja obalnog plavljenja u četiri naselja: Cresu, Rabu, Puntu i Voloskom. Prethodna ispitivanja su već definirala ove obale kao ranjive i veoma ranjive, s visokim vrijednostima indeksa obalne ranjivosti (engl. *coastal vulnerability index*, CVI). Istraživanje se osvrće samo na plavljenje ovih naselja morem, a ne i oborinama. Ovi rezultati služe kao osnova za razvoj strategija prilagodbe kako bi se smanjila ranjivost obalnih područja Primorsko - goranske županije na podizanje razine mora i klimatske promjene.

2. METODOLOGIJA

Za preciznije analize ranjivosti priobalja potrebne su visoko precizne topografske podloge s točnošću od ± 5 cm. Većina znanstvenih i stručnih radova o plavljenju obalnih područja ističe nedovoljno precizne podloge kao značajan problem prilikom detaljnih znanstvenih i prostornih analiza (UNDP, 2009; UNEP/MAP/PAP, 2016). Snimanje naselja Cresa, Raba, Punta i Voloskog (Tablica 1) provela je tvrtka GEO-VV d.o.o. Rijeka uz pomoć bespilotne letjelice. Izrađene su digitalne ortofoto karte visoke rezolucije i trodimenzionalni oblaci točaka.

Tablica 1. Karakteristike analiziranih naselja

	Cres	Rab	Punat	Volosko
Analizirana površina [m ²]	91.750	156.650	74.371	21.701
Duljina obalne linije [m]	1.219	2.643	919	764
Prosječni CVI <i>d</i> *	4,5	4,35	5,0	3,2

* preuzeto iz prve faze istraživanja, max. vrijednost ranjivosti: 5 (Ružić i drugi, 2022)

Važno je razumjeti hazard od obalnog plavljenja, što uključuje morske razine, plime, doseg valova i prirodu olujnih uspora. Predviđanje budućih razina mora i ekstremnih razina izazvanih olujnim usporima nije glavna tema ovog rada, već su obrađeni mogući scenariji porasta srednjih i ekstremnih povremenih razina mora iz postojećih izvora (Republika Hrvatska, 2020). Analizirano je ukupno šest scenarija ekstremne razine mora u rasponu od već zabilježenih (1,15 m n. m.) do predviđenih, a prikazani su u tablici 2. Visina od 1,15 m n. m. definirana je terenskim istraživanjima koja su uključivala anketiranje lokalnog stanovništva i mjerodavnih službi te mjerenje visina karakterističnih točaka na obali i prikupljanje fotodokumentacije. Ti podaci omogućili su rekonstrukciju razine plavljenja, precizno kartiranje obale u vezi s plavljenjem, opisivanje dosadašnjih nepovoljnih događaja i definiranje rubnih uvjeta za numeričke simulacije.

Tablica 2. Analizirane morske razine

Visine plavljenja [m n. m.]	
	$\leq 1,15$
	1,15 - 1,45
	1,45 - 1,75
	1,75 - 2,05
	2,05 - 2,35
	2,35 - 2,56

Analize su obuhvatile i zaštićena kulturna dobra te broj poplavljenih građevina. Opasnost od poplave ovisi o intenzitetu i brzini strujanja vode te visini valova, s udaljenijim lokacijama od obale kao sigurnijim područjima. Stoga su se izračunale i dubine vode obalnog plavljenja, koje su ključne za analizu rizika za ljude, građevine i infrastrukturu.

ru. Numeričke simulacije valova provedene su pomoću modela SWAN. Analizirane su promjene visine valova u akvatoriju područja istraživanja za različite scenarije porasta razine mora. Rezultati su prikazani u tekstualnom, digitalnom i trodimenzionalnom obliku.

3. REZULTATI

Sa sve češćim ekstremnim razinama mora, Grad Cres se suočava s ozbiljnim prijetnjama obalnim poplavama. Istraživanje je pokazalo da su zimski mjeseci 2019. / 2020. bili obilježeni čestim poplavama uzrokovanim porastom razine mora, morskim mijenama, valovima i olujnim usporima, te mogućim slijeganjima naselja. Rezultati prikazani u tablici 3 pružaju osnovni uvid u plavljenje i valovanje na području četiriju analiziranih naselja.

Tablica 3. Pregled rezultata plavljenja prema analiziranim scenarijima

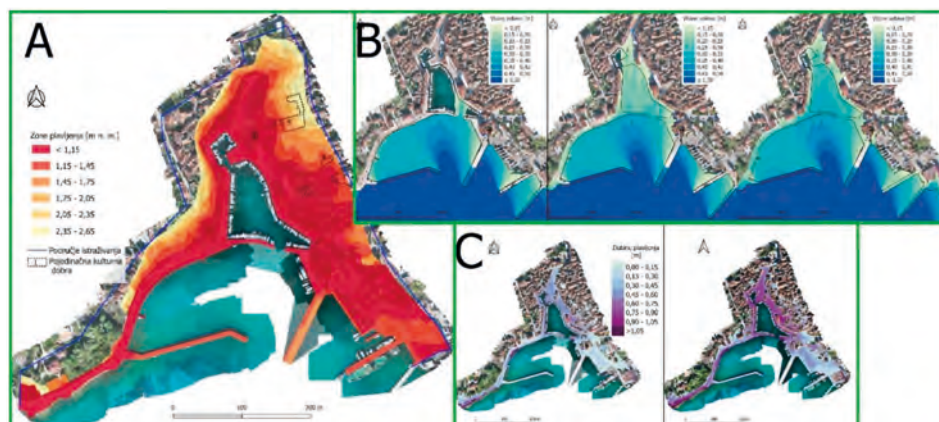
	Scenarij [m n. m.]	Cres	Rab	Punat	Volosko
Površina plavljenja po m' OL [m ² /m']	< 1,15	36,7	17,5	31,3	2,6
	1,15 - 1,45	47,3	28,2	43,6	6,2
	1,45 - 1,75	53,2	32,0	51,2	8,8
	1,75 - 2,05	56,3	33,9	57,5	10,7
	2,05 - 2,35	59,5	35,7	62,6	12,3
	2,35 - 2,65	62,7	36,7	65,2	13,2
Prosječna širina poplavljenog pojasa [m]*	< 1,15	60	35	40	4,5
	1,15 - 1,45	75	56	54	9
Dubina plavljenja [m]**	< 1,15	0,3 (0,6)	0,3 (0,6)	0,3 (0,2)	0,5
	1,15 - 1,45	0,5 (0,9)	0,4 (0,9)	0,5 (0,3)	0,4 (0,2)
	1,45 - 1,75	0,8 (>1,1)	0,6 (>1,1)	0,8 (0,6)	0,5 (0,5)
Valovina poplavljenim površinama veći od 20 cm	0,60	-	-	-	
	1,15	-	-	+	
	1,45	+	+	+	
	1,75	+	+	+	
Funkcioniranje obalne infrastrukture (scenarij 1,45 m n. m.)		djelomično smanjeno	smanjeno	u redu	smanjeno

* okomito na obalnu liniju

** prva vrijednost odnosi se na medijan dubina izračunat u QGIS-u, a vrijednost u zagradi je najveća dubina plavljenja ispred zgrada za pojedini scenarij

U istraženom području užeg centra Cresa, površine 91.750 m², ranijim istraživanjem (Ružić i drugi, 2022) utvrđena je veoma visoka ranjivost (Tablica 1). Trenutna plavljenja, definirana visinom od 1,15 m n. m., obuhvaćaju površinu od 44.793 m². Očekuje se da će porast ekstremnih razina mora na 1,45 m n. m. premjestiti granicu plavljenja 75 m dalje od obalne linije, obuhvaćajući površinu od 57.683 m² (Slika 1.).

Dubine vode tijekom obalnog plavljenja većinom su oko 30 cm, ali mogu biti veće na određenim lokalitetima, što može uzrokovati oštećenja građevina i infrastrukture. Analize valovanja provedene su za različite razine mora (od 0,60 m n. m. do 1,75 m n. m.) i prikazane su za jugo (SE) kao najnepovoljniji smjer vjetrova. Zaključak je da postojeće infrastrukture poput lukobrana značajno umanjuju djelovanje valova u luci Cresa. U slučaju daljnjeg porasta razine mora, moguće su značajnije valne visine na područjima zahvaćenim obalnim plavljenjem, što može predstavljati dodatni rizik.



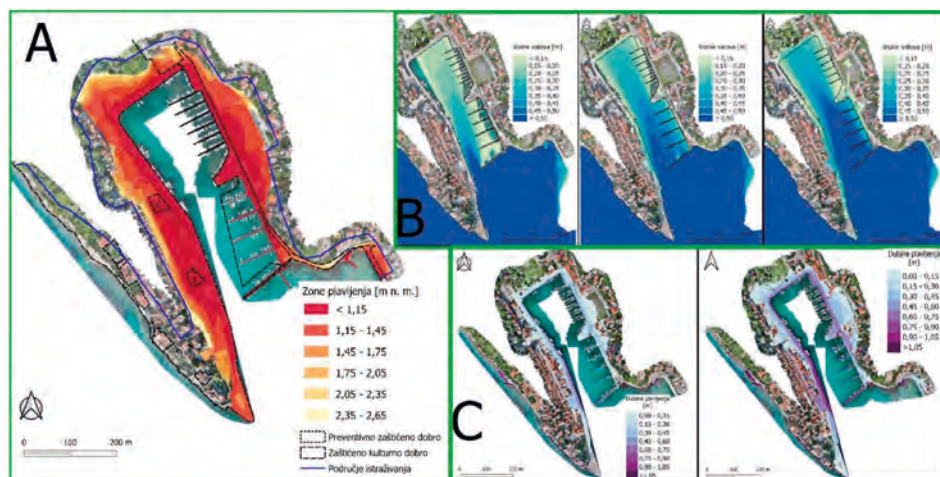
Slika 1. Cres - rezultati plavljenja: A - zone plavljenja, B - propagacija valova po plavljenim površinama za različite morske razine, C - dubine plavljenja

I Grad Rab suočava se s ozbiljnim prijetnjama od obalnih poplava uzrokovanih ekstremnim razinama mora. Analizom rezultata (Slika 2), utvrđeno je da je površina koja je već podložna plavljenju za postojeće razine mora iznosila oko 46.166 m². Međutim, s predviđenim porastom razine mora na 1,45 m n. m., očekuje se povećanje ove površine na 74.621 m².

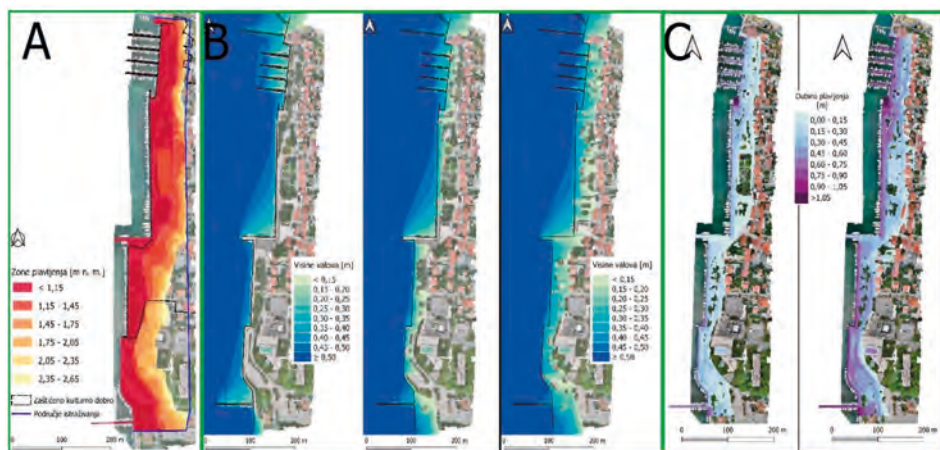
Dubine vode tijekom obalnih poplava također su zabrinjavajuće. Za razinu mora od 1,75 m n. m., dubine vode mogu premašiti 1 metar. Ovo nije samo prijetnja građevinama i infrastrukturi, već i ozbiljan rizik po sigurnost ljudi i vozila. Luka Rab dobro je zaštićena za postojeće stanje valovanja. U slučaju morskih razina od 1,15 m n. m. valovi u luci su nešto viši, a dolaze i do obale te se na sjevernom kraju rive zahvaćene plavljenjem još šire i valovi visoki 15 cm. Na zapadnom dijelu obale visine mogu dosegnuti i 30 cm.

Analize pokazuju da je Puntat već danas izložen značajnom obalnom plavljenju u centru grada za razine plavljenja do 1,15 m n. m. (Slika 3) Površina koja može poplaviti iznosi oko 29.000 m². Dubine plavljenja za trenutne razine mora uglavnom su manje od 30 cm, stvarajući minimalne rizike i materijalne štete. Predviđeni porast razine mora na 1,45 m n. m. predstavlja ozbiljniji scenarij. Površina plavljenja povećava se na 40.084

m², a valovi dosežu prve redove građevina. Unatoč tome, većina plavljenja događa se na neizgrađenim površinama, kao što su parkovi, tržnica, prometnice i parkirališta, koje su kroz urbanistički razvoj nastale pomicanjem obalne linije prema moru nasipavanjem plitkog obalnog područja. Ove površine danas štite naselje od velikih šteta uslijed plavljenja, a pružaju i mogućnost zaštite od predviđenih obalnih poplava u budućnosti.



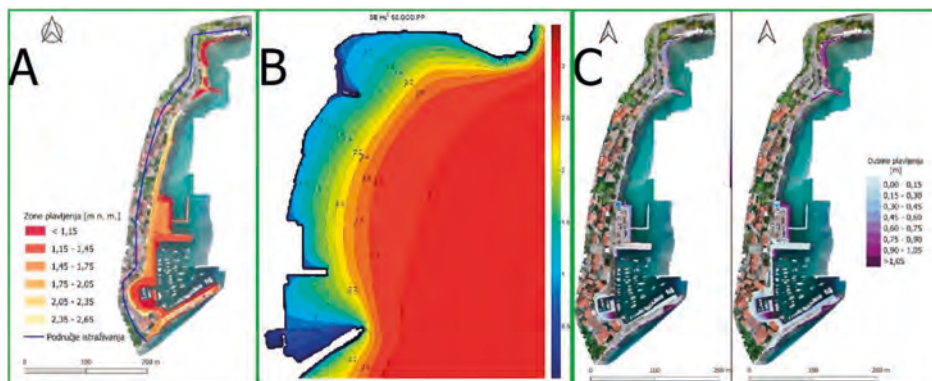
Slika 2. Rab - rezultati plavljenja: A - zone plavljenja, B - propagacija valova po plavljenim površinama za različite morske razine, C - dubine plavljenja



Slika 3. Punat - rezultati plavljenja: A - zone plavljenja, B - propagacija valova po plavljenim površinama za različite morske razine, C - dubine plavljenja

Volosko s porastom razine mora također postaje sve ranjivije na obalne poplave. Površina plavljenja za razine mora od 1,15 m n. m. iznosi 2.025 m², dok će se obalna linija pomaknuti prema unutrašnjosti za 4,5 metara pri razini mora od 1,45 m n. m. Numeričke simulacije valovanja u akvatoriju Voloskog za razine mora od 1,15 m n. m., pokazuju da do obale stižu valovi značajne visine između 1,0 i 1,5 m. Već sada se valovi prelijevaju

na javne površine ugrožavajući promet na prometnici uz postojeći obalni zid i uzrokuju oštećenja.



Slika 4. Volosko - rezultati plavljenja: A - zone plavljenja, B - numerička simulacija valova, C - dubine plavljenja

ZAKLJUČAK

Ovaj rad pruža detaljan uvid u problematiku obalnog plavljenja u četiri istražena obalna naselja na području Primorsko - goranske županije. Analize provedene u ovom radu naglašavaju razlike u uočenim problemima s kojima se ova naselja suočavaju te pružaju smjernice za buduće mjere zaštite od obalnog plavljenja. Analiza je uključila i sagledavanje utjecaja valova na plavljenim površinama, zahvaljujući kvalitetnim geodetskim podlogama (trodimenzionalni oblaci točaka).

Razlog sve češćem plavljenju priobalnih gradova je porast srednje razine mora, te povećanje ekstremnih razina mora za vrijeme olujnih uspora. Urbane osnove analiziranih primorskih naselja datiraju još iz srednjeg vijeka zbog čega su vjerojatna i slijeganja dijela terena. Međutim, do sada slijeganja nisu detaljno istražena te ne postoje relevantni podaci. Duž čitave hrvatske obale smještene su brojna naselja iz istog perioda, a pokazana metodologija primjenjiva je i na njih. Ova naselja vrijedna su kulturna baština upisana u Registar kulturnih dobara. Suradnja između različitih struka, uključujući urbaniste, inženjere, konzervatore i druge, ključna je za uspješno planiranje i provedbu mjera zaštite od obalnog plavljenja. Rezultati jasno ukazuju na potrebu planskog pristupa u borbi protiv obalnih poplava u naseljima.

Mogućnosti zaštite od obalnog plavljenja Grada Cresa bit će poprilično zahtjevne zbog niskih visina postojeće obale i zaštićene kulturne baštine. Širenje prema moru i podizanje postojeće obale stare luke vjerojatno je tek djelomično moguće, a ova je rješenja potrebno sagledati s gledišta konzervatorske struke, funkcionalnosti luke te ograničenih pješačkih površina na obali. U Gradu Rabu širenjem obalne linije prema luci mogle bi se dobiti nove javne površine, no to je potrebno uskladiti s potrebama za korištenjem lučkog akvatorija i prometa u samom gradu. U Voloskom je od obalnog plavljenja ugroženo tek nekoliko građevina u južnom dijelu naselja - u centru i u staroj lučici (Mandrać). Sjeverni dio ugrožen je djelovanjem valova i visokih razina mora i tu će biti potrebno provesti proširenje obale kako bi se smanjilo zapljuskivanje.

Postojeću obalnu infrastrukturu potrebno je prilagoditi očekivanim razinama mora, za što je već danas potrebno započeti planiranje. Lukobrane će se trebati rekonstruirati s višim kotama parapetnih zidova, kao i adekvatnim pojačanjima kamenometa nasipa. Kod luka gdje prevladavaju vertikalni zidovi rekonstrukcijom se preporučuje umanjiti refleksiju valova.

Najveća zabilježena morska razina od 1,15 m n. m. definirana je rekonstrukcijom razine plavljenja na osnovu opažanja lokalnog stanovništva, zbog čega su moguća određena odstupanja od stvarnih vrijednosti. Za potrebe točnih mjerenja i adekvatnih procjena budućih morskih razina preporučuje se povećanje broja mareografskih postaja na području Primorsko - goranske županije.

S obzirom na prikazanu složenost problematike obalnog plavljenja potrebno je za sva naselja uz obalnu liniju za koju je utvrđena vrlo visoka i visoka ranjivost na podizanje razine mora provesti cjelovito istraživanje ranjivosti naselja te čim prije definirati smjernice i utvrditi konkretne mjere zaštite za svako pojedino naselje kako bi se one mogle ugraditi u prostorne planove kao obvezne. Za usvajanje i provedbu mjera za ublažavanje posljedica poplava potrebno je provesti cjelovite analize plavljenja obalnog područja i kartirati ugrožena područja.

Realizacijom ovog projekta ostvarena je mogućnost preciznog određivanja ugroženih gradskih zona za pojedine scenarije podizanja morske razine. Rezultati su kvalitetna podloga koja će dionicima (primjerice jedinicama lokalnih samouprava, lučkim upravama) omogućiti i olakšati pravovremeno djelovanje i intervencije u prostoru potrebne za umanjene očekivanih negativnih posljedica klimatskih promjena. Također, razvijen je jednostavan alat za informiranje i edukaciju lokalnog stanovništva kroz prikaz ugroženih područja foto - realističnim oblacima točaka, razumljiv svim korisnicima bez obzira na razinu njihova tehničkog znanja.

LITERATURA

- [1] IPCC (2023): *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Ur. Lee, H., Romero, J.), IPCC, Geneva, Švicarska, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- [2] Republika Hrvatska (2020): *Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu*, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_04_46_921.html (2. 9. 2021.)
- [3] Republika Hrvatska, Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja (2020): *Utjecaj klimatskih promjena na priobalne gradove Republike Hrvatske i stavovi stanovništva* <https://prilagodba-klimi.hr/utjecaj-klimatskih-promjena-na-priobalne-gradove-republike-hrvatske-i-stavovi-stanovnistva> (20.4.2022)
- [4] Ružić, I., Benac, Č., Tadić, A., Krvavica, N., Petrović, V., Ljubičić, G., Jakupović, D. (2022): *Analiza ranjivosti obalnog pojasa Primorsko - goranske županije zbog podizanja razine mora*. Javna ustanova Zavod za prostorno uređenje Primorsko - goranske županije, Rijeka.

- [5] UNDP (2009.): *Dobra klima za promjene*, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, Zagreb
- [6] UNEP/MAP/PAP (2016.): *Plan integralnog upravljanja obalnim područjem Šibensko-kninske županije*, Program prioritetnih akcija, Split

AUTORI

Andrea Tadić, mag. ing. aedif. ^a

Gorana Ljubičić, dipl. ing. arh. ^b

Vedrana Petrović, mag. oec. spec. ^b

Dado Jakupović, mag. geogr. ^b

doc. dr. sc. Nino Krvavica ^c

izv. prof. dr. sc. Igor Ružić ^c

^a Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka 51000, Hrvatska, andrea.tadic@uniri.hr

^b JU Zavod za prostorno uređenje Primorsko - goranske županije, Splitska 2/II, Rijeka 51000, Hrvatska, gorana.ljubicic@pgz.hr, vedrana.petrovic@pgz.hr, dado.jakupovic@pgz.hr

^c Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka 51000, Hrvatska, nino.krvavica@uniri.hr, iruzic@uniri.hr



R 2.10.

ANALIZA OBALNE RANJIVOSTI PRIMORSKO - GORANSKE ŽUPANIJE

**Igor Ružić, Andrea Tadić, Vedrana Petrović, Gorana Ljubičić,
Dado Jakupović, Čedomir Benac, Nino Krvavica**

SAŽETAK: Procjena ranjivosti obalnog područja izrazito je složena zbog velikog broja varijabli koje utječu na konačni rezultat. Taj postupak je još zahtjevniji na razvedenoj obali Republike Hrvatske gdje se varijable mogu značajno mijenjati i na deset metarskim razmacima. U ovom radu prikazani su rezultati analize obalne ranjivosti za obalni pojas Primorsko - goranske županije (PGŽ), koji obilježava kompleksna geološka građa i reljef, dok je ukupna duljina obale oko 1.235 km.

Određen je stupanj ranjivosti obala PGŽ-a pomoću standardno korištenog indeksa obalne ranjivosti (engl. *Coastal Vulnerability Index*, CVI) za svakih 25 m duljine obale. Indeks obalne ranjivosti definiran je na temelju analize pet varijabli: a) geološka građa, b) obalni nagib, c) djelovanje valova, d) obalno plavljenje, e) žala. Klase analiziranih varijabli i zbirne CVI vrijednosti podijeljene su u pet kategorija ranjivosti: veoma niska (1), niska (2), umjerena (3), visoka (4) i veoma visoka (5). Analizirane su i kartirane ranjivosti svake pojedine varijable i ukupne ranjivosti.

Prosječna vrijednost ukupnog CVI-ja je 2,02 što ukazuje na nisku ranjivost, no 13 %, odnosno 160 km, analizirane obale spada u kategoriju visoke i veoma visoke ranjivosti, što je prilično zabrinjavajuće. Četvrtina duljine obale (24 %) visoke je i veoma visoke ranjivosti u odnosu na obalno plavljenje, što će se povećati na 30 %, odnosno 35 % ako se razina mora podigne za 60, odnosno 120 cm.

KLJUČNE RIJEČI: Indeks obalne ranjivosti, Klimatske promjene, Rast razine mora

ANALYSIS OF COASTAL VULNERABILITY OF THE PRIMORJE - GORSKI KOTAR COUNTY

ABSTRACT: Assessing coastal vulnerability is very complex due to a large number of variables that affect the final result. The procedure becomes even more complicated in the case of Croatia's indented coastline, where variables may significantly change at 10 m distances. The paper presents the results of the coastal vulnerability analysis of the coastal zone of the Primorje-Gorski Kotar County, characterized by a complex geological structure and morphology and having a total length of about 1.235 km.

The degree of coastal vulnerability of the County was determined based on the commonly used coastal vulnerability index (CVI) for each 25 m of the coastline. The coastal vulnerability index is defined based on the analysis of five variables: a) geological structure, b) coastal slope, c) wave action, d) coastal inundation, e) beaches. The classes of variables analysed and the cumulative CVI values are divided into five vulnerability categories: very low (1), low (2), moderate (3), high (4), and very high (5). The vulnerabilities of each variable and the overall vulnerability were analysed and mapped.

The average value of the total CVI is 2.02, indicating low vulnerability; however, 13 %, or 160 km, of the analysed coastline falls into the category of high and very high vulnerability, which is quite concerning. A quarter of the coastline (24 %) has high and very high vulnerability to coastal flooding, which will increase to 30 % and 35 % of the coastline if sea level rises by 60 and 120 cm, respectively.

KEYWORDS: Coastal vulnerability index, Climate change, Sea level rise

1. UVOD

Vidljive su sve učestalije i ekstremne vremenske neprilike prouzročene klimatskim promjenama. Porast razine mora vjerojatno može biti najnepovoljnija posljedica klimatskih promjena na hrvatskoj obali Jadrana, ali i na cijelom Mediteranu. Do kraja 21. stoljeća očekuje se rast razine Jadranskog mora od 62 +/- 14 cm (Republika Hrvatska, 2020). Štetne posljedice će se očitovati kroz plavljenja dijelova naselja smještenih na najnižim kotama, oštećenja obalne infrastrukture, zaslanjenja krških vodonosnika, pojačane erozije obala i slično. To će imati značajne posljedice i na obalama Primorsko - goranske županije (PGŽ) čija je ukupna duljina 1.235 km. Najugroženije će biti niske zone obalnih naselja i gradova kao što su Rijeka, Crikvenica, Mali i Veli Lošinj, Cres i Rab. Te posljedice već su sad vidljive zbog pojave sve češćih ekstremnih plima.

Rekordno visoke razine mora od +117 cm 2008., +122 cm 2012. i +127 cm 2018. godine izmjerene na mareografu u Bakru, jasan su pokazatelj sve ubrzanijeg rasta razine mora. Porast razine mora odvijat će se kroz duži vremenski period, što omogućuje pravovremeni pristup u planiranju prostora. Prilagodbe postojećih prostornih planova temeljit će se na novim saznanjima temeljenim na istraživanju obalnog područja. Naime, Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine daje veliku važnost prostornom planiranju u funkciji zaštite okoliša i prilagodbi klimatskim promjenama (Republika Hrvatska, 2020).

U sklopu projekta *Analiza ranjivosti obalnog područja Primorsko - goranske županije zbog podizanja razine mora* provedena je znanstveno - stručna procjena ranjivosti obalnog područja Primorsko - goranske županije. Određen je stupanj ranjivosti obala PGŽ-a preko standardno korištenog indeksa obalne ranjivosti (engl. *Coastal Vulnerability Index*, CVI) za svakih 25 m¹ obale. Metoda se temelji na određivanju ključnih varijabli koje predstavljaju procese koji utječu na obalnu ranjivost, njihovoj kvantifikaciji i konačno integraciji u jedan indeks (CVI). S obzirom na prirodne karakteristike obala PGŽ-a i dostupne podloge, indeks obalne ranjivosti definiran je na osnovi analize geološke građe, obalnog nagiba s obzirom na obalno plavljenje te opasnost od odrona, djelovanja valova i prisutnosti žala. Izrađene su karte ranjivosti obala u mjerilu 1 : 25.000 za pojedine analizirane varijable (podindekse) i zbirni indeks.

2. METODOLOGIJA

Procjene obalne ranjivosti mogu biti bazirane na više metoda, najčešće korištene su (Hadipour i drugi, 2020): metode temeljene na indeksu (engl. *index-based methods*), pristup temeljen na indikatorima (engl. *indicator-based approach*), sustavi potpore odlučivanju temeljeni na GIS-u (engl. *GIS-based decision support systems*), metode zasnovane na dinamičkim računalnim modelima (engl. *methods based on dynamic computer models*).

Prvi metodološki korak pri procjeni CVI-ja je definicija ključnih varijabli koje predstavljaju procese koji utječu na obalnu ranjivost (Gornitz, 1991). Broj i tipologija ključnih varijabli mogu se modificirati u skladu s karakteristikama područja istraživanja (ETC CCA, 2011). Drugi se korak bavi analizom i kvantifikacijom ključnih varijabli. Iako za ovaj korak mogu biti dostupne razne metodologije, kvantifikacija se općenito temelji na definiciji polukvantitativnih rezultata prema skali 1 - 5 (Gornitz, 1991; Özyurt i Ergin, 2010; Thieler i Hammar-Klose, 1999): 1 ukazuje na nizak utjecaj na ranjivost obale za proučavano područje, dok 5 ukazuje na visok utjecaj. Treći korak uključuje integraciju ključnih varijabli u jedan indeks.

Provedene analize temeljile su se na podlogama, mjerila 1 : 5.000 za ortofoto i topografske karte, te 1 : 25.000 za DEM (engl. *Digital Elevation Model*). Problem mjerila u provedenim analizama odražava se na vertikalnoj preciznosti i razmacima između točaka DEM-a (25 m). Probleme s preciznošću podloga i njihovim mjerilom navode i druga slična istraživanja na području RH (UNDP, 2009; UNEP/MAP/PAP, 2016). Zbog toga su i ciljevi ove studije detektirati potencijalno ugrožena područja PGŽ-a koja će biti detaljno analizirana daljnjim obradama.

Konačan CVI definiran je na osnovi podindeksa ranjivosti i određen prema formuli (1) koja naglašava pozitivan utjecaj žala na obalnu ranjivost:

$$CVI = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2 + d^2 - e^2}{5}} \quad (1)$$

gdje je: a - geološka građa (engl. *geological fabric*); b - obalni nagib (engl. *coastal slope*); c - značajna visina vala na obali (engl. *significant wave height*); d - plavljenje obale (engl. *inundation*); e - žalo (engl. *beach*).

Intervali ranjivosti prikazani su u tablici 1., a određeni su prilagodbom standardne Natural Breaks (Jenks) klasifikacije, izvršene uz pomoć alata QGIS (verzija 3.16.1), s ciljem prilagodbe rezultata prirodnim značajkama obala na području Kvarnera. Ova prilagodba temeljila se na dosadašnjim istraživanjima ranjivosti na Kvarneru (Benac i drugi, 2010, 2012, 2014; Ružić i drugi, 2019; Ružić i Benac, 2016), kao i terenskim ispitivanjima provedenima za potrebe ovoga projekta.

Tablica 1. Intervali za konačni indeks ranjivosti obale (CVI)

	Ranjivost (CVI)	CVI	
		Od	Do
	Veoma niska (1)	0,0	1,79
	Niska (2)	1,8	2,19
	Umjerena (3)	2,2	2,59
	Visoka (4)	2,6	3,07
	Veoma visoka (5)	3,1	4,20

3. REZULTATI

U sklopu ovoga projekta provedena je znanstveno - stručna analiza ranjivosti obalnog područja Primorsko - goranske županije, definirane su varijable ranjivosti i konačni CVI za svakih 25 m¹ obale PGŽ-a. U okviru ovog rada prikazat će se rezultati analize varijable obalnog nagiba u odnosu na moguće nestabilnosti padina te konačni CVI, dok će ostale varijable biti prikazane u prezentaciji.

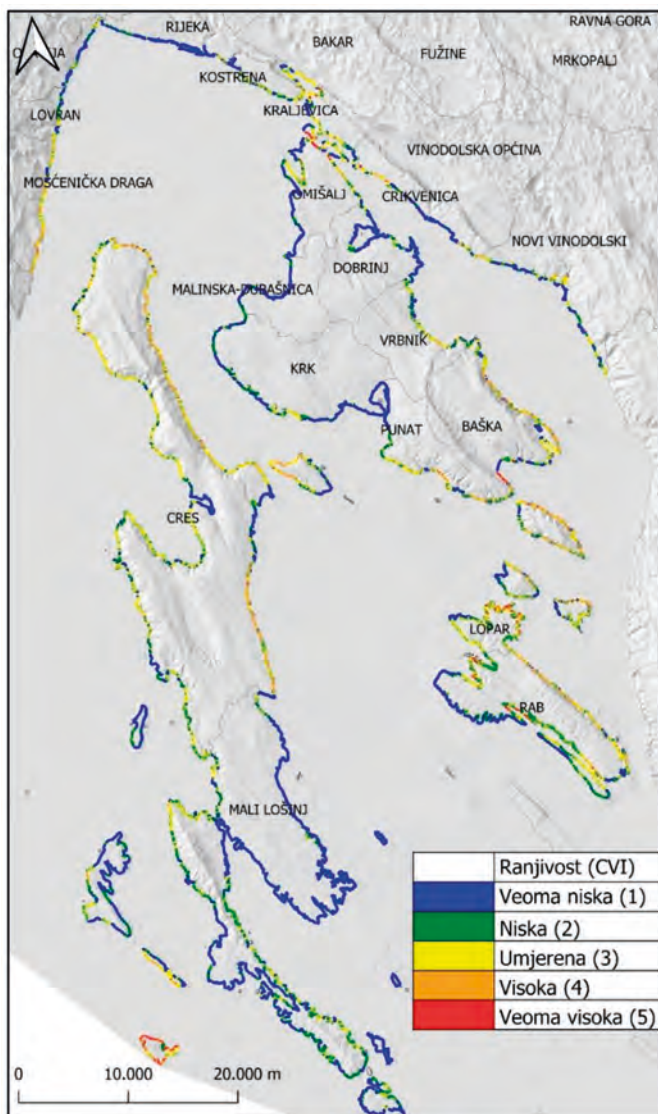
Uobičajene analize obalne ranjivosti fokusiraju se na obalno plavljenje, gdje se plitke položene obale smatraju najranjivijima. Na hrvatskoj obali Jadrana sve češće dolazi do pojave odrona i klizišta na strmim obalama, budući da valovi dosižu sve više kote. Stablnost strmih obala ovisi o geološkoj građi, nagibu obale, razini podzemnih voda, zapljuskivanju i udaru valova, utjecaju vegetacije, plimnim potkapinama i slično. Ranjivost strme obale je definirana za tri litogenetska tipa obale: karbonatne stijene, fliš i les (tablica 2).

Tablica 2. Podindeksi obalne ranjivosti za varijablu kritičnog obalnog nagiba u odnosu na odrona i klizanje, CVI b (Bognar, 1992)

	Geološka građa	Karbonatne stijene		Fliš		Les	
		Obalni nagib (°)		Obalni nagib (°)		Obalni nagib (°)	
		Od	Do	Od	Do	Od	Do
	Veoma niska (1)	0	11,99				
	Niska (2)	12	19,99	0	4,99	0	4,99
	Umjerena (3)	20	31,99	5	11,99	5	11,99
	Visoka (4)	32	69,99	12	19,99	12	19,99
	Veoma visoka (5)	70	90,00	20	90,00	20	90,00

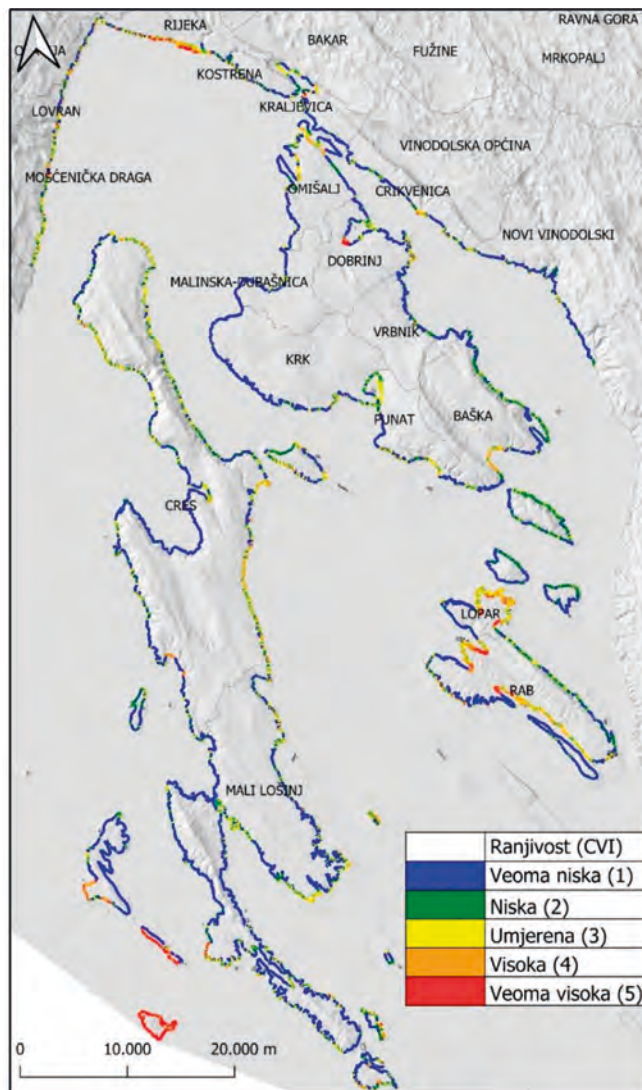
Na slici 1. prikazana je obalna ranjivost PGŽ-a, u odnosu na obalni nagib i rizik od klizanja i odrona. Prosječna vrijednost CVI-ja s obzirom na obalni nagib na razini PGŽ-a izno-

si 2,09, što je relativno niska ranjivost, a rezultat je prevladavajuće povoljne kombinacije nagiba i geološke građe obale. No čak 15,5 % obale je visoke i veoma visoke ranjivosti (otok Susak, istočne obale otoka Raba, Cresa i Krka).



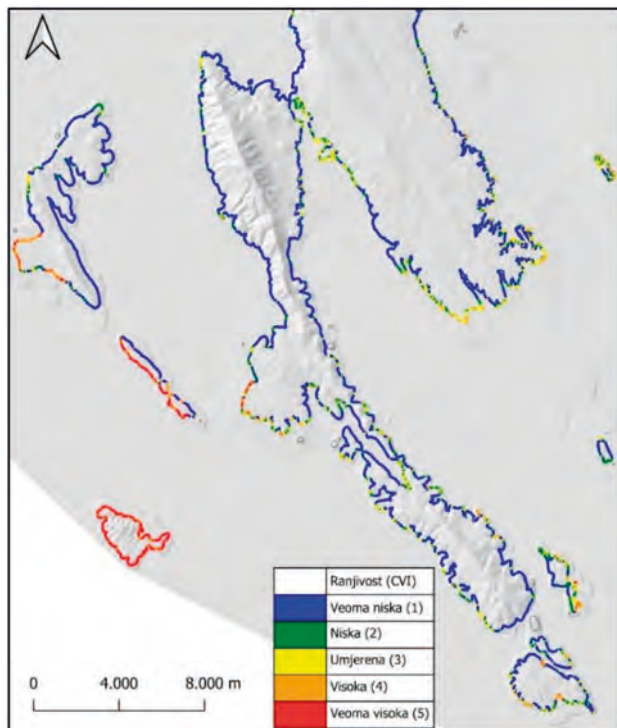
Slika 1. Rezultati podindeksa obalne ranjivosti za varijablu obalnog nagiba i rizik od nestabilnosti padina, CVI b

Na osnovi provedene analize pojedinačnih indeksa ranjivosti i definirane formule određen je zbirni indeks obalne ranjivosti (CVI). Rezultati su prikazani na slici 2.



Slika 2. Rezultati konačnog indeksa obalne ranjivosti, CVI

Većina obalnog pojasa PGŽ-a (67,4 %) niske je i veoma niske ranjivosti, dok je 13 % visoke i veoma visoke ranjivosti. Prosječna ranjivost je 2,02, što odgovara niskoj ranjivosti. Najugroženiji je otok Susak (Slika 3), čija je cijela obalna linija visoke i veoma visoke ranjivosti. Ovo se podudara i sa stanjem na terenu gdje je samo naselje izloženo čestom obalnom plavljenju, dok su na južnom dijelu otoka zabilježene pojave odrona zemljišta. Grad Mali Lošinj je umjerene ranjivosti, što odgovara evidentiranim pojavama izloženosti riziku od obalnog plavljenja, dok su drugi čimbenici umjereniji. Rijetko naseljeno južno područje otoka Cresa (Punta Križa) umjerene je do visoke ranjivosti zbog niskih obala i izloženosti djelovanju valova.



Slika 3. Grad Mali Lošinj - rezultati konačnog indeksa obalne ranjivosti (CVI)

ZAKLJUČAK

U ovom radu analizirana je ranjivost obalnog područja Primorsko - goranske županije. Provedene su detaljne analize pet reprezentativnih varijabli i zbirnog indeksa obalne ranjivosti (CVI). Rezultati zbirnog CVI-ja pokazali su da je manji dio obale PGŽ-a ugrožen, ali se negativan utjecaj pojedinih razmatranih varijabli ne smije zanemariti. Utvrđena su potencijalno ranjiva obalna područja PGŽ-a i pokazano je da su najugroženija postojeća naselja. Manji otoci izrazito su ugroženi očekivanim promjenama, pogotovo u odnosu na njihovu površinu i duljinu obalne linije. Srećom, tim otocima ne prijete veliki rizik jer većinom nisu izgrađeni i naseljeni, odnosno izgrađene su samo manje građevine poput pristana ili svjetionika.

Složena geološka građa i razveden obalni reljef istraženog područja zahtijevale su prilagodbu postojećih uobičajeno korištenih metodoloških pristupa, kao i analizu za svakih 25 m obalne crte. Prikazana CVI analiza uzima u obzir i geološku građu i njenu kombinaciju s obalnim nagibima. Važnost ovakvog pristupa dokazana je u veljači ove godine, kada je nakon potresa došlo do lokalnih odrona na području naselja Stara Baška na otoku Krku. Rezultati provedenih analiza već se koriste za planiranje gradnje u obalnom pojasu PGŽ-a.

LITERATURA

- [1] Benac, Č., Dugonjić Jovančević, S., Ružić, I., Vivoda, M., Peranić, J. (2014.): *Marine erosion and slope movements: SE coast of the Krk island*, *Landslide Science for a Safer Geoenvironment*, Volume 3: Targeted Landslides, 563–567. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04996-0_86
- [2] Benac, Č., Ružić, I., Ljutić, K., Ferenac-Grubišić, A. (2012.): *Ranjivost obala otoka Raba*. *Rapski zbornik II* (Ur. Andrić, J., Lončarić, R.), Ogranak Matice Hrvatske u Rabu, Zagreb, 235–243.
- [3] Benac, Č., Ružić, I., Žic, E., Gržančić, Ž., Kraljić, R. (2010.): *Ranjivost prirodnih žala u području Kvarnera*, *Prirodoslovna istraživanja riječkog područja II* (Ur. Arko-Pijevac, M., Surina, B.), *Prirodoslovni muzej Rijeka*, Rijeka, 97–107.
- [4] Bognar, A. (1992.): *Inženjerskogeomorfološko kartiranje*, *Acta Geographica Croatica*, 27, 173–185.
- [5] ETC CCA (2011.): *Methods for assessing coastal vulnerability to climate change*, ETC CCA Technical Paper 1/2011, Copenhagen
- [6] Gornitz, V. (1991.): *Global coastal hazards from future sea level rise*, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 89 (4), 379–398. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(91\)90173-O](https://doi.org/10.1016/0031-0182(91)90173-O)
- [7] Hadipour, V., Vafaie, F., Kerle, N. (2020): *An indicator-based approach to assess social vulnerability of coastal areas to sea-level rise and flooding: A case study of Bandar Abbas city, Iran*, *Ocean and Coastal Management*, 188, 105077. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105077>
- [8] Özyurt, G., Ergin, A. (2010.): *Improving Coastal Vulnerability Assessments to Sea-Level Rise: A New Indicator-Based Methodology for Decision Makers*, *Journal of Coastal Research*, 26 (2), 265–273. <https://doi.org/10.2112/08-1055.1>
- [9] Republika Hrvatska (2020.): *Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu*, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_04_46_921.html (1.12.2020.)
- [10] Ružić, I., Benac, Č. (2016.): *Ranjivost obala otoka Raba zbog rasta razine mora*, *Hrvatske vode*, 24 (97), 203–214.
- [11] Ružić, I., Dugonjić Jovančević, S., Benac, Č., Krvavica, N. (2019.): *Assessment of the Coastal Vulnerability Index in an Area of Complex Geological Conditions on the Krk Island, Northeast Adriatic Sea*, *Geosciences*, 9 (5), 219. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.3390/geosciences9050219>
- [12] UNEP/MAP/PAP (2016.): *Plan integralnog upravljanja obalnim područjem Šibensko-kninske županije*, Program prioritetnih akcija, Split
- [13] Thieler, E. R., Hammar-Klose, E. S. (1999.): *National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: Preliminary results for the U.S. Atlantic coast*, U.S. Geological Survey, Open-File Report, Massachusetts
- [14] UNDP (2009.): *Dobra klima za promjene*, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, Zagreb

AUTORI

izv. prof. dr. sc. Igor Ružić ^a

Andrea Tadić, mag. ing. aedif ^a

Vedrana Petrović, mag. oec. spec. ^b

Gorana Ljubičić, dipl. ing. arh. ^b

Dado Jakupović, mag. geogr. ^b

prof. emerit. dr. sc. Čedomir Benac ^a

doc. dr. sc. Nino Krvavica ^a

^a Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka 51000, Hrvatska, iruzic@uniri.hr, andrea.tadic@uniri.hr, cbenac@gradri.uniri.hr, nino.krvavica@uniri.hr

^b JU Zavod za prostorno uređenje Primorsko - goranske županije, Splitska 2/II, Rijeka 51000, Hrvatska, vedrana.petrovic@pgz.hr, gorana.ljubicic@pgz.hr, dado.jakupovic@pgz.hr



R 2.11.

UPIJAJUĆI LUKOBRAN LUKE SAN PELAGIO U ROVINJU

Ivan Žigo, Dinko Hrešić

SAŽETAK: Izvedbom projekta komunalne luke San Pelagio u Rovinju, omogućeno je novih 370 vezova za domicilno stanovništvo. Zbog ograničavajućih parametara i uvjeta prilikom projektiranja, a u cilju sprječavanja značajnijeg prelijevanja mora preko lukobrana i uopće osiguranja funkcionalnosti luke, osmišljen je novi, upijajući tip lukobrana. Duž trupa lukobrana, izvedena su četiri armiranobetonska upojno-retencijska bazena prosječne zapremine 330 m³. Bazeni su međusobno povezani cijevima radi osiguranja ravnomjerne popunjenosti morem prilikom olujnog nevremena i izdizanja brijega vala preko vanjskog ruba lukobrana, koji na taj način, kao cjelina, imaju funkciju retencije. Upojno-retencijski bazeni ispunjeni su krupnim kamenom s nadvišenjem od 0,5 m u odnosu na parter lukobrana kako bi se dodatno disipirala energija valova prije poniranja u bazene te spriječio direktan prodor valova na unutarnju stranu lukobrana. Morska voda, koja prilikom nevremena uđe u bazene, sustavom cijevi se odvodi i drenira kroz podmorski dio lukobrana natrag u more.

KLJUČNE RIJEČI: Upijajući lukobran, Prelijevanje, Upojno - retencijski bazeni, Sustav za odvodnju mora, Disipacija energije valova, Obalno inženjerstvo

ABSORBING BREAKWATER OF THE SAN PELAGIO PORT IN ROVINJ

ABSTRACT: The implementation of the San Pelagio Port Project in Rovinj, Croatia, has provided 370 new berths for the local community. Due to constraining parameters and conditions during the design process, and with the aim of preventing more significant breakwater overtopping and generally ensuring the functionality of the port, a new, soaking breakwater type was conceived. Four reinforced concrete absorbing-retaining basins with an average volume of 330 m³ were constructed along the breakwater. The basins are mutually connected with pipes to ensure a uniform filling up with seawater during storms and the rising of wave crests over the outer edge of the breakwater, and thus, as a whole, having the function of a retention. The absorption/retention basins are filled with rubble and with a superelevation of 0,5 m in relation to the breakwater in order to additionally dissipate the energy of waves before they crash into the basins and prevent direct intrusion of waves into the inner side of the breakwater. Seawater, which enters the basins during storms, is transported through a pipe system and drained through the breakwater's submarine part back into the sea.

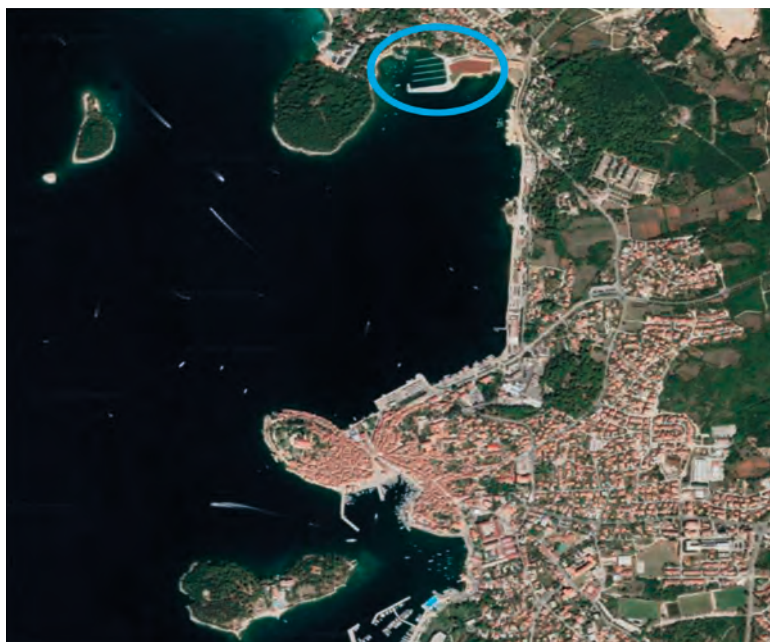
KEYWORDS: Soaking breakwater, Overtopping, Absorbing - retaining basins, Seawater drainage system, Wave energy dissipation, Coastal engineering

1. UVOD

Grad Rovinj poznato je turističko središte na zapadnoj obali Istre s gradskom jezgrom na poluotoku i dvije luke, Sjevernom i Južnom lukom. Zbog nedovoljnih lučkih kapaciteta, Lučka uprava Rovinj je 2016. godine, uz pomoć Grada Rovinja, krenula s realizacijom projekta nove komunalne luke kapaciteta 370 vezova za plovila do 10 m duljine. Luka je izvedena u krajnjem sjeverozapadnom dijelu Sjeverne luke, u uvali San Pelagio po kojoj je dobila i ime, a koja je od gradske jezgre udaljena 1.500 m zračne linije (slika 1.). Ukupna vrijednost investicije iznosila je oko 7 milijuna eura.

Područje uvala San Pelagio prethodno je već bilo djelomično izgrađeno. Zapadno od predmetne luke prostire se bolnički kompleks ispred kojeg se nalazi komunalna lučica kapaciteta 30 - tak vezova za plovila duljine do 6,0 m. Kopneni dio zahvata najvećim je dijelom formiran neplanskim nasipavanjem tijekom izgradnje stambenih kuća u tzv. bolničkom naselju. Unatoč tome, prostor je kao dio prirodne veće uvale Valdibora s dubinama mora do 8,0 m i nesmetanim pogledom na povijesnu jezgru grada Rovinja ocijenjen vrlo kvalitetnim za smještaj manje luke za plovila lokalnog stanovništva.

U sljedećim fazama revitalizacije okolnog područja, u planu je, nastavno na luku svečano otvorenu 2021. godine, izgraditi plažu i kupalište s pripadajućim parkiralištem i popratnim sportsko - rekreacijskim, zabavno - kulturnim te uslužnim sadržajem.



Slika 1. Sjeverna luka grada Rovinja i lokacija komunalne luke San Pelagio (www.google.hr/maps/)

2. VJETROVALNA KLIMA NA LOKACIJI

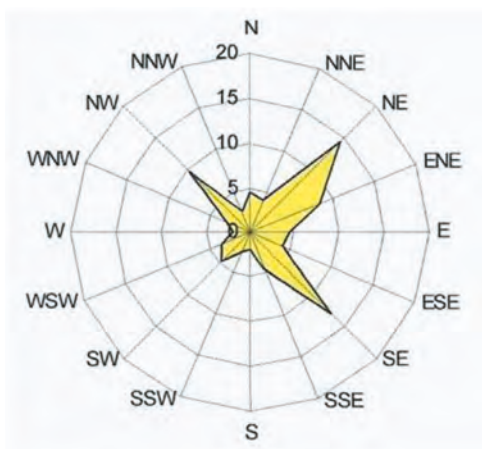
2.1. Vjetar

Za obalne građevine, u smislu određivanja dominantnih opterećenja i djelovanja na konstrukciju, važni su podaci o smjeru, brzini, trajanju i učestalosti vjetra. Duž cijele zapadne obale Istre, vjetrovi iz III. i IV. kvadranta generiraju mjerodavne valove. Prognoza vjetrovne klime izrađena je na bazi podataka s najbliže klimatološke postaje Rovinj, na kojoj se vizualno opaža jačina vjetra u Beaufortima (Bf) što odgovara 10 minutnim (stvarnim) srednjim brzinama vjetra. Kako su za valne prognoze mjerodavne prosječne satne brzine vjetra, a faktor žestine udara vjetra (*eng. gust factor*) za 10 minutni vjetar iznosi 1,12 (PIANC, 1979), usvojeno je da je jačina satnog vjetra 10 % manja od vrijednosti brzina vjetra opaženih na klimatološkoj postaji.

Prosječna godina na klimatološkoj postaji Rovinj (tablica 1. i slika 2.) okarakterizirana je s najučestalijim vjetrovima: burom (iz NE smjera puše tijekom 14,2 % vremena u godini), jugom (iz SE smjera puše tijekom 12,8 % vremena u godini), lebićem (SW smjer) i maestralom (NW smjer). Promatra li se u prosječnoj godini jačina puhanja vjetra neovisno o smjeru, može se konstatirati da prevladava povjetarac, odnosno slab vjetar (1 - 3 Bf) sa 76,7 % - tnom učestalošću. Umjereno jak vjetar (4 - 5 Bf) ima učestalost puhanja od 6,8 % dok jak vjetar (≥ 6 Bf), koji je najčešće bura ili jugo, ima učestalost puhanja od svega 0,4 %. Tišina, odnosno vrijeme bez ikakvog puhanja vjetra se javlja u 14,9 % vremena tijekom godine.

Tablica 1. Najveće zabilježene brzine vjetra na klimatološkoj postaji Rovinj u razdoblju 1951. - 2000. temeljem vizualnih opažanja (Vučetić, 2004.)

I. kvadrant	II. kvadrant	III. kvadrant	IV. kvadrant
8 Bf	10 Bf	8 Bf	8 Bf



Slika 2. Ruža učestalosti vjetrova za klimatološku postaju Rovinj u razdoblju 1951. - 2000. (Vučetić, 2004)

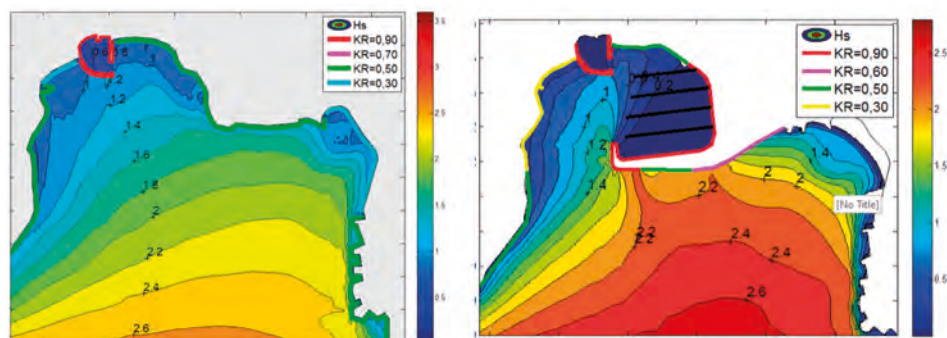
2.1. Valovi

Širi akvatorij luke izložen je valovima iz tri sektora: sektor I. (valovi iz SW i SSW smjera), sektor II. (valovi iz smjerova WSW, W i WNW) i sektor III. (valovi iz NW smjera). U uvali Valdibora najveće valove generira lebić (SW smjer), koji je povijesno na predmetnom području znao prouzročiti štetu na privezanim plovilima, ali i na obali uzrokujući poplave i pomicanje kamenih blokova većih od 1 m³. Rezultati dugoročnih prognoza dubokovodnih valnih visina preuzeti su iz hidrauličke studije agitacije valova za južnu luku u Rovinju (Pršić i drugi, 2004), a u tablici 2. su prikazane valne visine za reprezentativni sektor I.

Tablica 2. Usvojene dugoročne značajne i maksimalne valne visine u dubokom moru ispred južne gradske luke Rovinj iz sektora I. (Pršić i drugi, 2004)

Povratno razdoblje PR (god)	Značajna dubokovodna valna visina H_s (m)	Maksimalna dubokovodna valna visina H_{max} (m)
100	4,0	7,0
50	3,6	6,1
5	2,4	4,2
2	2,2	3,6

Na temelju podataka hidrauličke studije (Pršić i drugi, 2004), provedeno je numeričko modeliranje deformacije valova pomoću numeričkog modela SWAN (Cycle III, ver. 40.41.) i računalnog programa MATLAB 7.1. (Ružić, 2016). Prilikom modeliranja korišten je spektar valova JONSWAP 3.30. Numeričke simulacije provedene su za valovanje iz sva tri mjerodavna sektora te za povratne periode od 5, 50 i 100 godina. Rezultati numeričkog modeliranja deformacije valova na predmetnom području za stanje prije i nakon izgradnje luke za povratni period od 50 godina i djelovanje valova iz reprezentativnog sektora I. prikazani su na slici 3.



Slika 3. Visine značajnih valova za sektor I., PP = 50 god., stanje prije izgradnje luke (lijevo) i nakon izgradnje luke (desno) (Ružić, 2016)

3. TEHNIČKO RJEŠENJE UPIJAJUĆEG LUKOBRANA

3.1. Uvjeti i ograničenja pri projektiranju lukobrana

Ulazni parametri prilikom projektiranja i pronalaženja tehničkog rješenja konstrukcije lukobrana bili su specifični i ograničavajući. Naime, iako je numeričkim modelom valovanja prognozirano da maksimalna visina ne reflektiranog vala ispred lukobrana iznosi $H_{\max}^{50} = 3,40$ m, od strane nadležnog Konzervatorskog odjela u Puli zahtijevano je da najviša točka na lukobranu ne bude viša od apsolutne kote + 2,50 m (2,50 m iznad srednje razine mora). Zahtjev za ovako niskim lukobranom u odnosu na mjerodavnu visinu vala proizašao je iz mišljenja kako će se višom konstrukcijom nepovoljno utjecati na okolni prostor te da će svojom visinom ugroziti postojeće vizure, kako iz grada prema uvali, tako i obrnuto iz uvale te naročito susjednog bolničkog kompleksa u zaleđu luke prema gradskoj jezgri. Projektna vrijednost prelijevanja valova preko lukobrana (Van der Meer i drugi, 2018) s kotom krune na apsolutnih + 2,50 m procijenjena je pomoću izraza za vertikalne lukobrane bez utjecaja morskog dna (1) na $18,50$ l/s/m², što je ocijenjeno nedovoljno prihvatljivim po pitanju funkcionalnosti lukobrana, ali i akvatorija luke.

$$q_D = \sqrt{g \cdot H_{m0}^3} \cdot 0,054 \cdot \exp \left[- \left(2,12 \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{1,3} \right] \quad (1)$$

gdje su:

- q_D - projektna vrijednost prelijevanja (l/s/m²),
- g - ubrzanje sile teže (m/s²),
- H_{m0} - visina dolaznog značajnog vala na nožici konstrukcije (m),
- R_c - visina lukobrana iznad projektne razine mora (m).

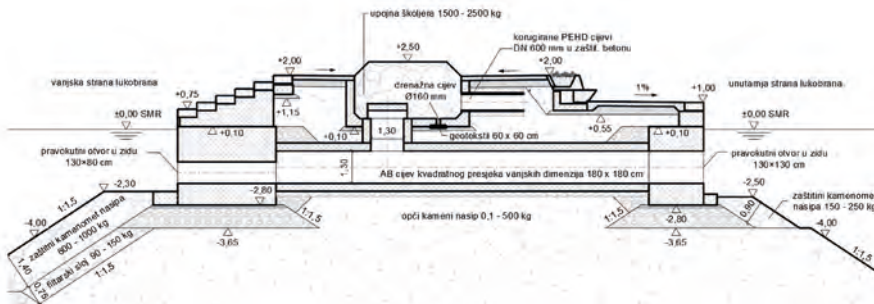
Nadalje, lukobran komunalne luke San Pelagio od strane arhitekata nije zamišljen kao isključivo tehnička građevina koja štiti luku već kao dio javnog gradskog prostora, kao kontaktna zona između tri funkcionalno različita sadržaja - luke s unutarnje strane lukobrana, vidikovca i šetnice duž središnjeg dijela lukobrana te sunčališta i kupališta s vanjske strane lukobrana i planirane plaže Valruia u njegovom nastavku prema istoku. Iz ovog razloga je vanjski dio lukobrana oblikovan kao terasasta građevina koja se spušta prema moru bez mogućnosti ugradnje kamene obalozaštite (školjere) s vanjske strane lukobrana, koja bi značajno pomogla u disipaciji energije i smanjenju prelijevanja valova preko lukobrana.

3.2. Konstrukcija lukobrana

Nadvodna površina lukobrana iznosi 3.365 m² što čini preko 10 % ukupne površine (kopneni i morski dio) komunalne luke. Razvijena dužina lukobrana mjereno s unutarnje strane iznosi oko 177 m, dok mu je širina promjenjiva i varira između 30 m (korijen lukobrana) i 7 m (glava lukobrana). Poprečni presjek lukobrana je atipičan (slika 4.), a najsličniji je horizontalno kombiniranom tipu lukobrana gdje se vertikalni lukobran plitko temelji na prethodno izvedenom temeljnom nasipu. Zbog velike širine, gornji vertikalni dio lukobrana je izveden od rubnih masivnih betonskih obalnih zidova temeljenih na koti - 2,80 m s promjenjivim širinama (2,0 - 3,6 m) pri čemu je prostor između njih ispunjen kamenim materijalom.

Osim horizontalno, lukobran se može i vertikalno podijeliti na tri odvojene cjeline. Unutarnji dio lukobrana širine 4,55 m izveden je s obalnim rubom na apsolutnoj koti + 1,00 m, deniveliran je u odnosu na preostali dio građevine za 1,00 m i prvenstveno je namijenjen za korisnike plovila privezanih na lukobranu. Vanjska strana lukobrana izvedena je stepenasto pri čemu se, gledajući s mora, obalni rub diže s apsolutne kote + 0,75 m na apsolutnih + 2,00 m. Ovakvim raščlanjenim oblikovanjem, vanjski dio lukobrana je pretvoren u sunčalište i kupalište uz istovremeno povoljno djelovanje na disipaciju energije dolaznih valova za vrijeme nevremena.

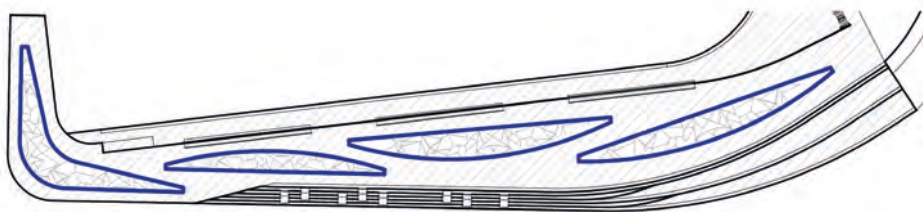
Središnji dio lukobrana s hodnom plohom na apsolutnoj koti + 2,00 m u osnovnoj je funkciji šetnice. Za tu visinu lukobrana, projektna vrijednost prelijevanja je prema (1) procijenjena na 49,83 l/s/m', što je ocijenjeno izuzetno nepovoljnim po pitanju funkcionalnosti cjelokupne površine lukobrana kao i za plovila privezana na njegovoj unutarnjoj strani. Stoga su, u cilju redukcije prelijevanja mora preko lukobrana i osiguranja funkcionalnosti luke, u trupu lukobrana izvedena četiri armirano-betonska upojno-retencijska bazena visine 1,60 m prosječne zapremnine 330 m³. Bazeni, čija neto širina varira između 0,90 i 6,50 m, ispunjeni su krupnim kamenom - školjerom (1.500 - 2.500 kg) s krunom na apsolutnoj koti + 2,50 m odnosno s 0,50 m nadvišenja u odnosu na parter preostalog središnjeg dijela lukobrana. Tlocrtno (slika 5.), bazeni su oblikovani kao poluelipse pri čemu su susjedni bazeni na svojim krajevima u međusobnom preklopu kako bi se duž cijelog lukobrana onemogućio direktan prodor vala na unutarnju stranu istog. Također, susjedni bazeni se međusobno ne dotiču pa je pomoću prolaza između njih omogućena nesmetana komunikacija na cjelokupnom parteru lukobrana. Osim sprječavanja direktnog prodora vala u akvatorij luke, funkcija uzdignute školjere je i dodatno disipiranje energija valova prije poniranja u bazene. Zbog svoje male relativne visine u odnosu na preostali parter lukobrana, školjere u povoljnim vremenskim uvjetima mogu poslužiti i kao sunčališta odnosno odmorišta.



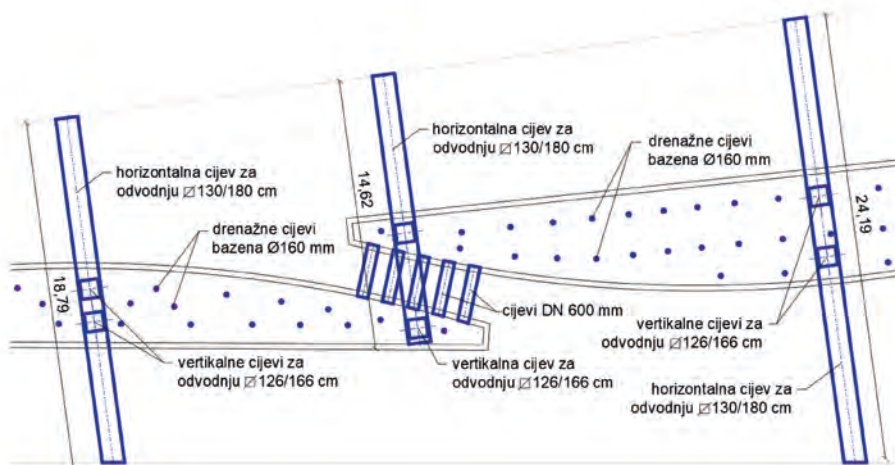
Slika 4. Karakteristični poprečni presjek vertikalnog dijela lukobrana sa sustavom za odvodnju i drenažiranje mora iz upojno - retencijskih bazena

S obzirom da bazeni tijekom trajanja nevremena nisu jednako izloženi djelovanju valova, međusobno su povezani s četiri do pet cijevi (slika 6.) kako bi se osigurala ravnomjerna popunjenost morem unutar istih prilikom izdizanja mora preko vanjskog ruba lukobrana. Ovako povezani, bazeni kao cjelina imaju funkciju retencije. Morska voda se, koja prilikom nevremena uđe u upojno - retencijske bazene sustavom vertikalnih i horizontalnih

cijevi, a po principu spojenih posuda, odvodi i drenira kroz podmorski dio lukobrana natrag u more. Cijevi su izvedene od armirano - betonskih predgotovljenih elemenata kvadratnog poprečnog presjeka. U svakom bazenu su izvedene minimalno dvije vertikalne cijevi za odvodnju koje su spojene na jednu od ukupno osam horizontalnih cijevi izvedenih u podmorskom dijelu vertikalnog lukobrana (slika 6.). Tri od osam cijevi su izvedene kroz cijelu širinu lukobrana kako bi se dodatno pospješila izmjena morskih masa između akvatorija luke i otvorenog mora. Na mjestu spoja bazena i vertikalne cijevi za odvodnju postavljeni su armirano - betonski zaštitni elementi u obliku stola kojima je onemogućeno upadanje zrna školjere iz bazena u sustav odvodnje uz istovremeno omogućeno slobodno dreniranje morske vode. U cilju sprječavanja nepovoljne pojave uzgona na temeljne ploče bazena prilikom pojave plime, na svakih 5 m² ploče izvedena je vertikalna drenažna cijev promjera 160 mm. Ove cijevi u pločama upojno - retencijskih bazena, zajedno s procjednicama ugrađenima u obalne zidove lukobrana, također promjera 160 mm, dodatno sudjeluju i pospješuju proces dreniranja morske vode iz upojno-retencijskih bazena.



Slika 5. Tlocrt partera lukobrana



Slika 6. Segment upojno - retencijskih bazena sa sustavom za odvodnju i dreniranje mora iz istih

Lukobran je, zbog funkcije da unutar svoje konstrukcije privremeno prihvati morsku vodu tijekom nevremena i postepeno ju ispušta natrag u more pomoću upojno - reten-

cijskih bazena i sustava za odvodnju i dreniranje iz istih, autorski nazvan upijajućim tipom lukobrana. Za projekt konstrukcije komunalne luke San Pelagio, Hrvatska komora inženjera građevinarstva je 2022. godine dodijelila nagradu Kolos za izuzetna dostignuća u struci u području obalnog inženjerstva.

ZAKLJUČAK

U radu je prikazano tehničko rješenje izvedenog inovativnog lukobrana komunalne luke San Pelagio u Rovinju, koje je autorski nazvano upijajućim tipom lukobran. Potreba, ali i mogućnost za idejom, razradom i realizacijom ovakve konstrukcije proizašla je iz ograničavajućih uvjeta, prvenstveno po pitanju visine, a zadanih od strane nadležnog konzervatorskog odjela. Vanjska strana lukobrana je arhitektonski osmišljena kao kupalište i sunčalište za vrijeme povoljnih vremenskih uvjeta te su stoga postojala i oblikovna ograničenja koja su utjecala na mogućnost izbora tipa konstrukcije lukobrana. Upojno - retencijskim bazenima u trupu lukobrana omogućava se privremeno zadržavanje morske vode koja se za vrijeme nevremena prelije preko vanjskog ruba lukobrana na parter istoga. Sustavom cijevi u konstrukciji lukobrana, voda se postepeno odvodi i drenira natrag u more. Projekt je izrađen u suradnji s tvrtkama Kostrenčić i Krebel - arhitekti d. o. o. iz Zagreba te Projekt - H d. o. o. iz Rijeke, kojima se autori zahvaljuju na vrlo dobroj i konstruktivnoj suradnji.

LITERATURA

- [1] PIANC, (1979): *Report of working group 1 (International Commission For The Reception Of Large Ships), annex to Bulletin No. 32 Vol I*, PIANC
- [2] Pršić, M., Carević, D., Kunštek, D., Kladar, S., (2004): *Hidraulička studija agitacije valovima južne gradske luke u Rovinju*, Građevinski fakultet Zagreb, Zagreb
- [3] Ružić, I., (2016): *Numeričke simulacije valovanja u uvali Valdibora - podloge za projektiranje sportske lučice*, Građevinski fakultet Rijeka, Rijeka
- [4] Van der Meer, J. W., Allsop, N. W. H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., Troch, P., Zanuttigh, B., (2018): *EurOtop, Manual on wave overtopping of sea defences and related structures, An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application*, Second Edition, www.overtopping-manual.com (29. 12. 2020.)
- [5] Vučetić, V., (2004): *Vjetrovna klima za južnu gradsku luku Rovinj (s nadopunom studije)*, Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske, Zagreb
- [6] www.google.hr/maps/ (07. 04. 2022.)

AUTORI

Ivan Žigo, mag. ing. aedif. ^a

mr. sc. Dinko Hrešić, dipl. ing. građ. ^a

^a Marecon d. o. o., Janka Polića Kamova 15, Rijeka, 51000, Hrvatska,
ivan.zigo.mc@gmail.com, marecondoo@inet.hr



R 2.12.

VIŠENAMJENSKI OBJEKTI ZA POBOLJŠANJE VODNOG REŽIMA RIJEKE DOBRE USLIJED RADA HE LEŠĆE

Nenad Heček

SAŽETAK: Mnoge hidroelektrane, pa tako i HE Lešće, koriste se za vršni rad jer mogu brzo promijeniti snagu da bi pratile potrebe za snagom i energijom u elektroenergetskom sustavu, što rezultira u velikoj varijabilnosti protoka nizvodno od HE tijekom dana. Ukoliko se hidroelektranom upravlja primarno za vršni rad, postoji niz ekoloških rizika i utjecaja na kvalitetu vode, fluvijalnu hidromorfologiju, priobalnu vegetaciju i vodne organizme. Nizvodno od takve hidroelektrane može doći do čestih promjena temperature vode, povećane erozije obala, te negativnih utjecaja na vodne organizme zbog brzih i čestih promjena u stanišnim uvjetima. Obzirom na nepovoljni vodni režim Dobre nizvodno od HE Lešće, analiziran je cijeli njezin tok nizvodno od HE do utoka u Kupu. Razmatrano je deset varijanata / podvarijanata tehničkog rješenja koje su primarno u funkciji trajnog poboljšanja vodnog režima, odnosno sprječavanja negativnog utjecaja rada HE Lešće. Sekundarna funkcija, proizvodnja električne energije, razmatrala se ovisno o pojedinom varijantnom tehničkom rješenju. Izbor optimalnog rješenja izvršen je višekriterijalnom analizom kojom su sve varijante vrednovane po tri kriterija: utjecaj na vodni režim, ekološki aspekt i ekonomski aspekt. Ključni kriterij u odabiru optimalnog tehničkog rješenja je postizanje povoljnog vodnog režima Dobre nizvodno od HE Lešće.

KLJUČNE RIJEČI: Rijeka Dobra, HE Lešće, Vršni rad, Vodni režim

MULTIPURPOSE FACILITIES TO IMPROVE THE DOBRA WATER REGIME IN RELATION TO THE HPP LEŠĆE OPERATION

ABSTRACT: Many hydroelectric power plants (HPPs), including the HPP Lešće, are used for peak operation because they can quickly modify power to accommodate the power and energy demand of the electric power system, which results in high daily variations in the flow downstream of the HPP. If a HPP is managed primarily for peak operation, there are a number of environmental risks and impacts on water quality, fluvial hydromorphology, coastal vegetation and aquatic organisms. Frequent changes in water temperature, increased bank erosion, and negative impacts on aquatic organisms due to rapid and frequent changes in habitat conditions might occur downstream of such a HPP. Due to the unfavourable water regime of the Dobra River downstream of the HPP Lešće, its entire course downstream of the HPP to its confluence with the Kupa River was analysed. Ten

alternative / subalternate technical solutions, primarily aimed at a permanent improvement of the water regime, i.e. prevention of a negative impact of the HPP Lešće operation, were considered. The secondary function, power generation, was considered according to an individual alternative technical solution. The optimal solution was selected by applying a multi-criteria analysis where all alternatives were evaluated according to three criteria: impact on the water regime, environmental aspects and economic aspects. The key criterion in the selection of the optimal technical solution is the achievement of a favourable Dobra water regime downstream of the HPP Lešće.

KEYWORDS: Dobra River, HPP Lešće, Peak operation, Water regime

1. UVOD

Rijeka Dobra druga je po veličini rijeka u Gorskom kotaru, a četrnaesta u Hrvatskoj. Rijeka Dobra je desna pritoka Kupe. Površina njezinog sliva iznosi 1.690 km², što predstavlja oko 16,5 % ukupnog sliva Kupe. Izvor Dobre nalazi se na sjeveroistočnim obroncima brdskog masiva Mlada Gora i udaljen je oko 2 km u pravcu juga od naselja Ravna Gora. Nakon izgradnje HE Gojak u Donju Dobru dolaze vode Ogulinske Dobre i dijelom Zagorske Mrežnice, regulirane radom HE Gojak, te preljevne vode akumulacija Bukovnik i dijelom akumulacije Sabljaci, koje se pojavljuju na izvorima Donje Dobre i Bistraca.

Izgradnjom HE Lešće, tok Donje Dobre značajno je izmijenjen pregrađivanjem Donje Dobre branom kod mjesta Gorinci potapa se 12,61 km duga uzvodna riječna dionica sve do ušća odvodnog kanala HE Gojak, čime se ostvaruje koncentracija energetskeg potencijala - akumulacijsko jezero Lešće ukupnog volumena 25,7 hm³ i najveće površine od 146 ha.

Rad HE Lešće je uvjetovan stanjem voda i potreba hrvatskog elektroenergetskog sustava s jedne strane, te mogućnosti za prihvaćanjem voda i proizvodnju električne energije u varijabilnom režimu rada. HE Lešće je priborsko postrojenje koje sukladno volumenu svoje akumulacije, sudjeluje u pokrivanju dnevnih „vrhova“ potrošnje električne energije u RH. Slijedom toga se i razlikuje dnevni / satni rad proizvodnih jedinica HE Lešće, pa samim time variraju i ispuštene količine vode iz akumulacije Lešće. Tako primjerice unutar istog dana, satni protoci s HE Lešće mogu varirati od 2,7 m³/s kod rada agregata biološkog minimuma do 122,7 m³/s kod rada oba glavna agregata i agregata biološkog minimuma, kad stanje voda to omogućava, a sve ovisno o potrebama energetskeg sustava i sukladno pogonskom pravilniku. Satne promjene rada HE Lešće, a posljedično i promjene ispuštanja količina voda rijeke Dobre utječu na nizvodni tok rijeke Dobre i obalne / zaobalne objekte na 30-tak kilometara dugačkom toku rijeke Dobre do ušća u Kupu.

Negativan utjecaj na nizvodni tok i korito rijeke je neminovna posljedica veličine instaliranog protoka i vršnog načina rada HE Lešće, budući da utjecaji njenog rada nisu prigušeni ili eliminirani te se prenose punim intenzitetom na cijelu nizvodnu dionicu. Evidentirana je promjena temperature vode, povećana erozija obala te negativan utjecaj na vodne organizme zbog brzih i čestih promjena staništa. Sve navedeno onemogućava lokalnom stanovništvu korištenje obale i rijeke na uvriježen način.

Obzirom na trenutno stanje odnosno nepovoljni vodni režim duž korita na Donjoj Dobri nizvodno od HE Lešće cilj izrade Idejnog rješenja (Elektroprojekt, 2021.) bio je odabir optimalnog tehničkog rješenja kojim bi se poboljšao vodni režim Dobre nizvodno od HE

Lešće. Analiziran je cijeli tok Donje Dobre nizvodno od HE Lešće do utoka u Kupu te su postavljene varijante tehničkih rješenja i odabrano je tehničko rješenje koje je primarno u funkciji trajnog poboljšanja vodnog režima, odnosno sprječavanja negativnog utjecaja uslijed rada hidroelektrane Lešće na rijeci Donjoj Dobri, nizvodno od hidroelektrane Lešće. Sekundarna funkcija proizvodnje električne energije uključena je u razmatranje ovisno o pojedinoj varijanti tehničkog rješenja. Pri odabiru razmatrao se i ekološki i ekonomski aspekt. U ovom radu prikazati će se prevedene analize s naglaskom na promjenu vodnog režima Dobre.

2. PROMJENA VODNOG REŽIMA DOBRE NAKON IZGRADNJE HE LEŠĆE

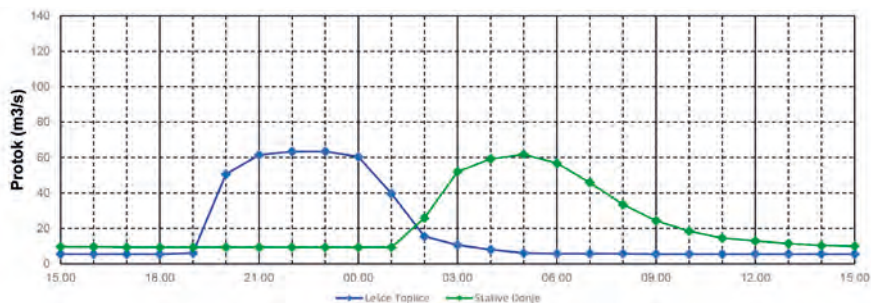
HE Lešće je elektrana koja podmiruje potrošnju električne energije u vršnom razdoblju te je za vrijednost proizvedene energije važna količina proizvedene vršne energije. U 2016. godini koja je bila hidrološki prosječna vršna energija čini 62 %, a temeljna energija 38 % od ukupno proizvedene količine električne energije, pa je proizvedeno 61,8 GWh vršne energije i 37,8 GWh temeljne energije. Instalirani protok elektrane od 120 m³/s i vršni način rada uzrokuje velike oscilacije protoka, a time i vodostaja Dobre. Prema pogonskom pravilniku HE Lešće da bi se spriječili negativni utjecaji na korito Dobre nizvodno, utvrđena su sljedeća pravila rada hidroelektrane:

- Prijelaz rada s biološkog minimuma na $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$ - linearno povećanje tijekom 5 min,
- Prijelaz rada s $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$ na $Q_i = 120 \text{ m}^3/\text{s}$ - linearno povećanje tijekom 5 min, s razmakom od 30 min (odnosno povećanju na $Q = 120 \text{ m}^3/\text{s}$ treba prethoditi 30-minutni rad s $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$).

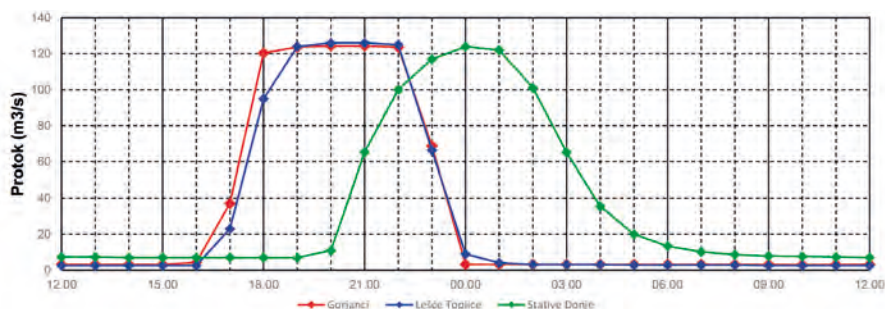
Prije izgradnje HE Lešće na režim toka Donje Dobre utjecao je rad HE Gojak. Na slici 1 prikazana je zabilježena satna promjena protoka na nizvodnim vodomjernim postajama uslijed rada HE Gojak sa 60 m³/s dana 6. ožujka 2004. godine.

Danas, izgradnjom HE Lešće režim rada HE Gojak utječe samo na dionicu Dobre od HE Gojak do HE Lešće. Promjene protoka i vodostaja uslijed rada HE Lešće sa 60 m³/s (rad jedne turbine) nešto je izraženije nego što je to bilo kod rada HE Gojak budući je skraćena dionica rijeke na kojoj se događa transformacija vodnog vala. Veću razliku promjene protoka i vodostaja uzrokuje rad HE Lešće s 120 m³/s (rad obje turbine). Na slici 2 prikazana je zabilježena satna promjena protoka na nizvodnim vodomjernim postajama uslijed rada HE Lešće s 120 m³/s dana 26. siječnja 2016. godine. Pri radu HE Lešće sa 120 m³/s dolazi do promjene vodostaja za 1,25 m na VP Lešće Toplice i 2,5 m na VP Donje Stative. Prije izgradnje HE Lešće promjene vodostaja su bile 0,75 m na VP Toplice Lešće i 1,25 m na VP Stative Donje uzrokovane radom HE Gojak sa 60 m³/s.

Uslijed režima rada HE Lešće i stalnog kolebanja vodostaja na rijeci Donjoj Dobri, djelovanja energije vode te učestalih oborina na slivnom području Donje Dobre tijekom godine dolazi do nakupljanja naplavina na obalama, urušavanja obala, oštećenja kamenih pragova, erozije i odnošenja materijala s raznih mjesta duž korita. Ta djelovanja prijete sigurnosti ljudi i okoliša te ih je potrebno sanirati na vrijeme prije nego prouzroče veća oštećenja. U tu svrhu vrše se radovi redovnog održavanja.



Slika 1. Promjena protoka uslijed rada HE Gojak - 60 m³/s, dana 6. ožujka 2004.



Slika 2. Promjena protoka uslijed rada HE Lešće - 120 m³/s, dana 26. siječnja 2016.

3. POSTAVA I REZULTATI TEHNIČKIH RJEŠENJA

Postavljene su i analizirane četiri grupe s ukupno deset varijantnih rješenja s ciljem poboljšanja vodnog režima Dobre nizvodno od HE Lešće i smanjenja utjecaja rada elektrane na vodni režim Dobre. U tablici 1 dan je popis svih razmatranih varijantnih rješenja. Prva grupa varijantnih rješenja je izmjena pogonskog pravilnika HE Lešće, odnosno promjena režima rada. Prema varijanti 1A ograničen je rad HE samo s jednim agregatom, odnosno s maksimalno 60 m³/s. U varijanti 1B HE radi s maksimalno 90 m³/s, a u varijanti 1C radi s oba agregata, ali uz postupno povećanje protoka od 0 do 120 m³/s, odnosno sporije podizanje snage agregata.

Druga grupa varijantnih rješenja su regulacijske građevine na vodotoku koju čine tri podvarijante. Varijantom 2A kojom se utvrđuje obala ne mijenja se vodni režim već se samo utječe na stabilnost obala, očuvanje toka Dobre te se neutraliziraju materijalne štete. Varijantom 2B predviđeno je podizanje svih postojećih pragova na 2/3 svoje duljine kojih je ukupno 23 do ušća u Kupu. Varijanta 2C predviđa izgradnju kompenzacijskog bazena Grdava smještenog neposredno nizvodno od HE na kanjonskom dijelu vodotoka koji je već s najjačim utjecajem hydropeakinga. Bazen je volumena 800.000 m³ s temeljnim ispuštom kapaciteta 30 m³/s.

Varijanta 3 je izgradnja vodnih stepenica prema studiji „Kompleksno uređenje sliva Kupe“, (Elektroprojekt, 1989.) Sastoji se od pet višenamjenskih energetske objekta koji obuhvaćaju izgradnju brane kojom se ostvaruje akumulacija. Visina brana kreće se od 8,00 m do 14,10 m, a volumen akumulacija od 600.000 do 5.600.000 m³. Izgradnjom

akumulacija mijenja se režim Dobre i tok se pretvara iz tekućice u stajaćicu te se prekida longitudinalna povezanost koja je danas na tom području manje-više prirodna. S obzirom na današnji veliki značaj zaštite okoliša te da se odustalo od daljnje gradnje i da su se četiri od pet lokacija predviđenih HE isključile iz prostorno-planske dokumentacije nije realna izgradnja navedenih objekata te je ta varijanta eliminirana kao neprihvatljiva i nije dalje razmatrana i uspoređivana.

Četvrta grupa rješenja su višenamjenski objekti s energetske korištenjem s pregradnim mjestom sukladnim prostornom planu Karlovačke županije nizvodno od ušća Globornice u Dobru. Ta varijantna rješenja ne mijenjaju vodni režim na dionici Dobre u duljini od 4,2 km od HE Lešće do Toplice Lešće. Razmatrane su tri podvarijante koje se razlikuju u visini brane odnosno volumenu akumulacije. Varijanta 4A (mala) je u skladu s ograničenjima iz prostorno planske dokumentacija te je dobiven volumen akumulacije 600.000 m³. Varijanta 4B (velika) predviđa najveću veličinu izgradnje, a da se ne ugrozi lokaciju Toplice Lešće što je rezultiralo akumulacijom volumena 1.880.000 m³. Varijanta 4C (srednja) po svojoj veličini je između prethodne dvije podvarijante s akumulacijom volumena 1.100.000 m³. Tim varijantnim rješenjima predviđeno je energetske korištenje s instaliranim protokom 60 m³/s i s mogućnošću rada s manjim protokom.

Tablica 1. Razmatrana varijantna rješenja

Oznaka	Naziv varijantnog rješenja
1	Promjena režima rada HE Lešće
1A	Rad s jednim agregatom naizmjenično - 60 m ³ /s
1B	Rad s jednim agregatom i s pola protoka drugog agregata - 90 m ³ /s
1C	Rad s oba agregata - 120 m ³ /s uz postupno uključivanje agregata
2	Regulacijske građevine za sprječavanje negativnog utjecaja vodnog vala
2A	Utvrdjivanje obala Dobre
2B	Podizanje pragova na Dobri
2C	Kompenzacijski bazen Grdava
3	Izgradnja vodnih stepenica prema studiji „Kompleksno uređenje sliva Kupe“
4	Višenamjenski objekt s energetske korištenjem
4A	Veličina izgradnje u skladu s ograničenjima iz PP dokumentacije - mala
4B	Veličina izgradnje koja ne ugrožava lokaciju Toplice Lešće - velika
4C	Veličina izgradnje po svojim karakteristikama između 4A i 4B - srednja

Kako bi se mogle provesti analize utjecaja rada HE Lešće, kao i analize utjecaja izgradnje objekata nizvodno, izrađen je matematički model tečenja rijeke Dobre na dionici nizvodno od HE Lešće do ušća Dobre u rijeku Kupu. Ova dionica je duljine 39.180 m i na njoj se nalaze četiri vodomjerne postaje koje su poslužile za kalibraciju modela. Vodomjerna postaja Gorinci nalazi se u neposrednoj blizini HE Lešće, nizvodnije su vodomjerne postaje Toplice Lešće, Jarče Polje te najnižvodnija Stative Donje.

Uspješnost poboljšanja vodnog režima pojedine varijante može se najbolje sagledati kroz rezultat poboljšanja vodnog režima nizvodno pri specifičnom vršnom radu HE s 120 m³/s u trajanju od tri sata. Rezultati se mogu usporediti prema karakterističnim pokazateljima na nizvodnim vodomjernim postajama kao što su maksimalni protok (Q_{\max}), dnevna oscilacija protoka (ΔQ_{1d}), satna oscilacija protoka (ΔQ_{1h}), dnevna oscilacija vodostaja (ΔH_{1d}), satna oscilacija vodostaja (ΔH_{1h}) i maksimalna brzina tečenja (v_{\max}). U tablici 2 su prikazani karakteristični pokazatelji vodnog režima pri radu HE Lešće s 120 m³/s na VP Stative Donje, a u tablici 3 je dana usporedba sa stanjem prije izgradnje HE Lešće.

Tablica 2. Karakteristični pokazatelji vodnog režima pri radu HE Lešće s 120 m³/s na VP Stative Donje

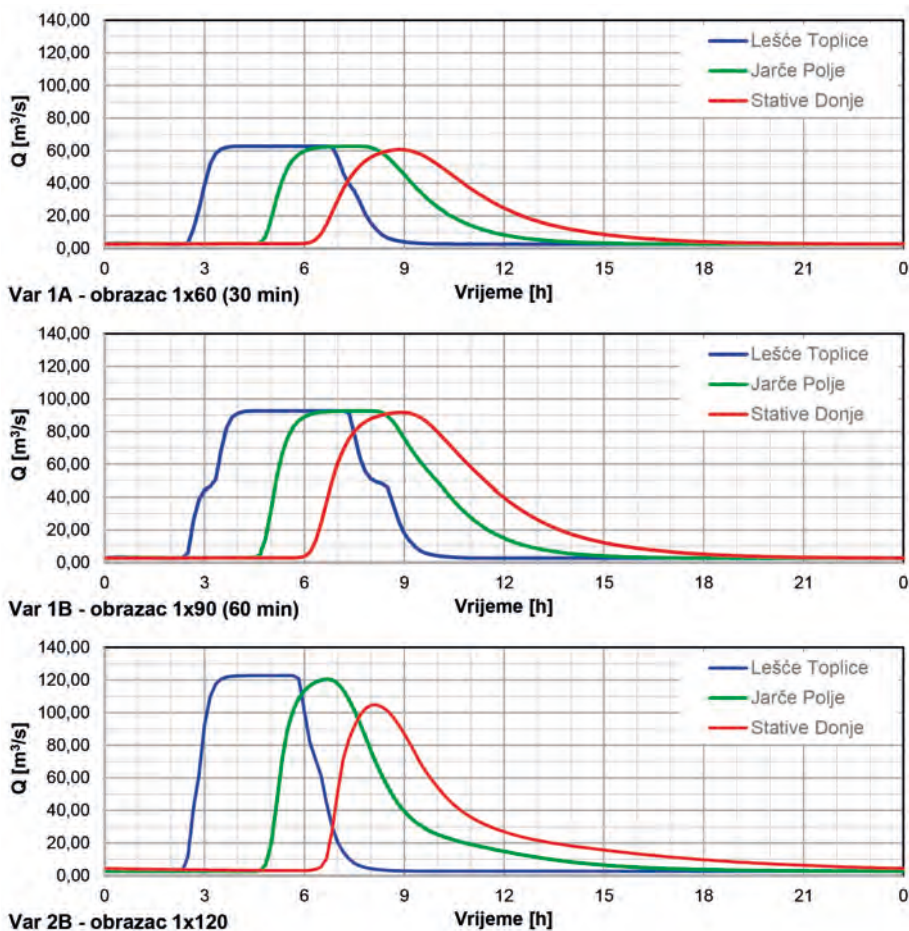
Fizička veličina	Prije HE Lešće	Post. stanje	1A	1B	1C	2B	2C	4A	4B	4C
Q_{\max} (m ³ /s)	61,7	118,5	60,7	91,7	121,6	104,9	90,2	93,6	20,0	47,8
ΔQ_{1d} (m ³ /s)	52,1	115,8	58,0	89,0	118,9	102,2	87,5	85,8	0,0	34,1
ΔQ_{1h} (m ³ /s)	26,1	87,0	38,1	62,6	87,6	87,9	69,7	41,0	0,0	21,5
ΔH_{1d} (m)	1,2	2,2	1,4	1,8	2,2	2,5	1,8	1,9	0,0	1,1
ΔH_{1h} (m)	0,6	1,7	0,9	1,3	1,7	1,9	1,4	0,7	0,0	0,5
v_{\max} (m/s)	1,1	1,5	1,1	1,3	1,5	0,9	1,0	1,0	0,7	1,0

Tablica 3. Usporedba karakterističnih pokazatelji vodnog režima pri radu HE Lešće s 120 m³/s sa stanjem prije izgradnje HE Lešće na VP Stative Donje

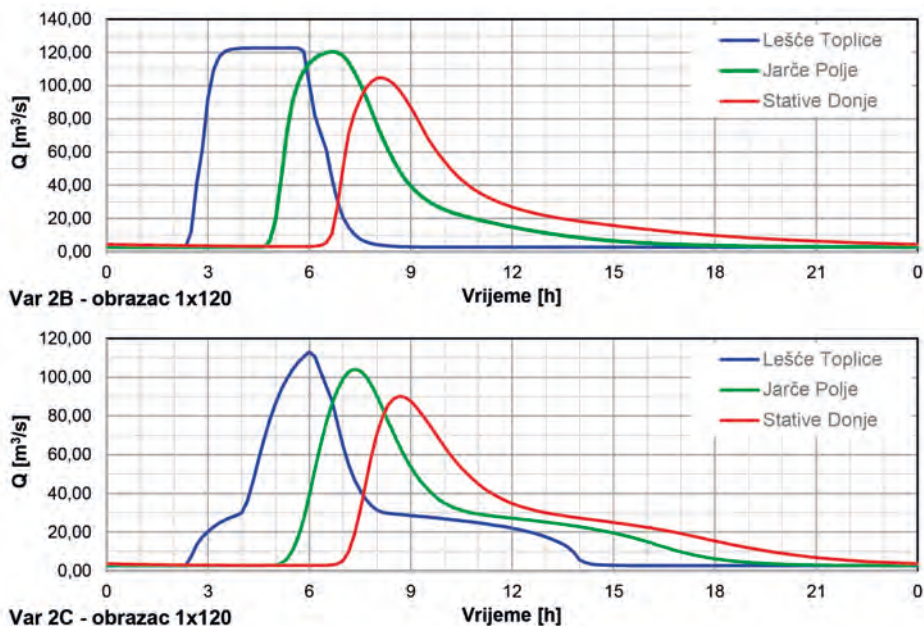
Fizička veličina	Prije HE Lešće	Post. stanje	1A	1B	1C	2B	2C	4A	4B	4C
Q_{\max} (m ³ /s)	-	56,8	-1,0	30,0	59,9	43,2	28,5	31,9	-41,7	-13,9
ΔQ_{1d} (m ³ /s)	-	63,7	5,9	36,9	66,8	50,1	35,4	33,7	-52,1	-18,0
ΔQ_{1h} (m ³ /s)	-	60,9	12,0	36,5	61,5	61,8	43,6	14,9	-26,1	-4,6
ΔH_{1d} (m)	-	0,9	0,1	0,6	1,0	1,3	0,6	0,6	-1,2	-0,1
ΔH_{1h} (m)	-	1,1	0,3	0,7	1,1	1,3	0,8	0,1	-0,6	-0,1
v_{\max} (m/s)	-	0,4	0,0	0,2	0,4	-0,3	-0,1	-0,1	-0,4	-0,1

Grafički su rezultati promjene vodnog režima za pojedine varijante prikazani hidrogramom na tri nizvodne postaje. Na slici 3 prikazani su hidrogrami za grupu varijanata promjene režima rada HE prema kojima varijanta 1A ograničava maksimalni protok na 60 m³/s i ublažava brzinu promjene, slično kao i varijanta 1B ograničava maksimalni

protok na $90 \text{ m}^3/\text{s}$. No s druge strane bitno se smanjuje vršna proizvodnja električne energije. Ne postoji mogućnost poboljšanja vodnog režima prema varijanti IC kod koje ostaje maksimalni protok $120 \text{ m}^3/\text{s}$.



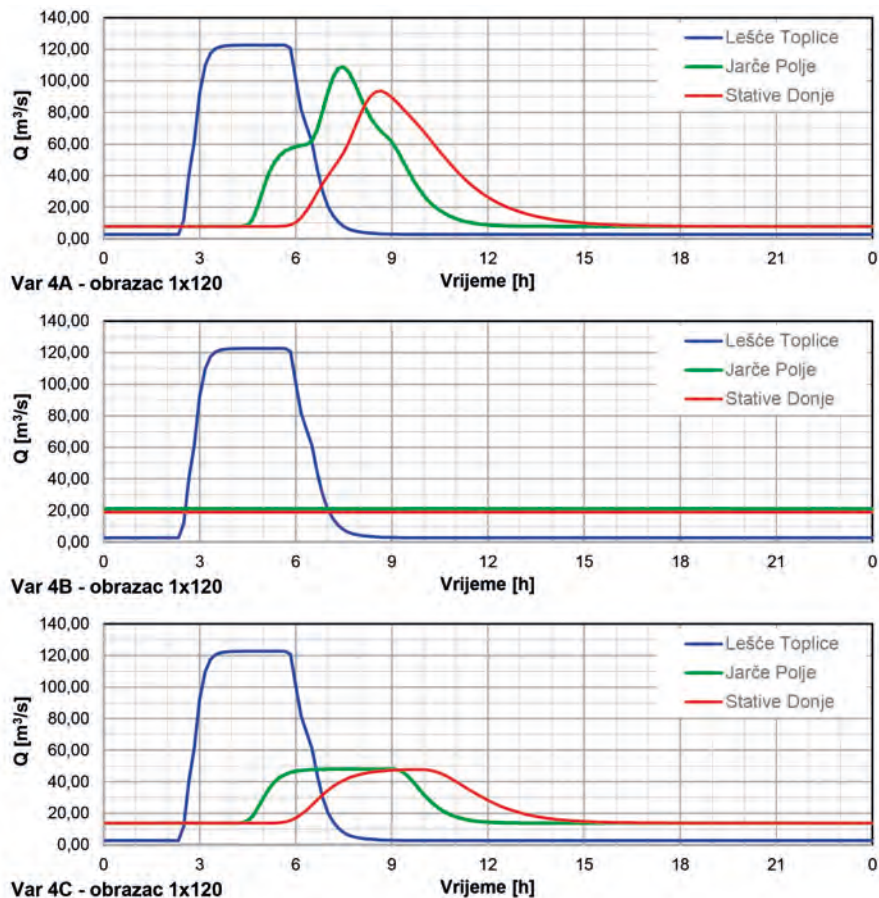
Slika 3. Hidrogrami za varijante 1A, 1B i 1C - promjena režima rada HE Lešće



Slika 4. Hidrogrami za varijante 2B i 2C - regulacijske građevine na Dobri

Na slici 4 prikazani su hidrogrami za varijantu 2B prema kojem je vidljivo da podizanje pragova postepeno poboljšava vodni režim prema nizvodnom dijelu te za varijantu 2C kojom kompenzacijski bazen zbog svog malog volumena ne može primiti cijeli vodni val uzrokovan radom elektrane.

Na slici 5 prikazani su hidrogrami za grupu varijanata višenamjenskog objekta s energetskim korištenjem. Varijanta 4B u potpunosti može regulirati vodni režim Dobre na način da akumulacija primi cijeli vodni val uzrokovan radom HE i da se nizvodno od objekta ispušta konstantno $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Dodatna korist te varijante je i proizvodnja električne energije.



Slika 5. Hidrogrami za varijante 4A, 4B i 4C - višenamjenski objekt s energetske korištenjem

4. ODABIR NAJPOVOLJNIJEG TEHNIČKOG RJEŠENJA

Višekriterijalnom analizom sve varijante vrednovane su po tri kriterija, na način da svi kriteriji nemaju jednake težinske udjele: Promjena vodnog režima - 50 %, Ekološki aspekt - 20 % i Ekonomski aspekt - 30 %.

Ključni kriterij u odabiru optimalne varijante je postizanje povoljnog vodnog režima Dobre nizvodno od HE Lešće. U ljetnim mjesecima od 6. do 9. mjeseca kada je dotok u akumulaciju manji HE Lešće radi povremeno samo s jednim agregatom, dakle s kapacitetom 60 m^3/s . U tom periodu se obavlja i redoviti godišnji remont, pa tada hidroelektrana ne radi. Rad HE Lešće s oba agregata i kapacitetom od 120 m^3/s karakterističan je za „zimski“ dio godine (preostali mjeseci od 10. do 5.). Tada je vodni režim Dobre izrazito nepovoljan te je bolje ono tehničko rješenje koje pri tom načinu rada HE Lešće najviše smanjuje dnevne i satne oscilacije protoka, vodostaja i brzina. Težinski udjel vrednovanja tehničkog rješenja za ljetni režim rada HE Lešće iznosi 20 %, a za „zimski“ režim rada iznosi 80 %.

Ekološki aspekt svakog varijantnog rješenja ocijenjen je prema više indikatora okoliša i prirode. Ocjena ekološkog stanja za svaki od indikatora nema isti težinski udjel u ukupnoj ocjeni ekološkog stanja. Za pojedine sastavnice okoliša u provedenoj analizi koristili su se indikatori koji se nalaze u koritu (fauna riba, fauna vodenih beskralješnjaka, vodena staništa, hidromorfologija, povezanost površinskih i podzemnih voda), a na koje zahvat može najviše utjecati, te je njihov težinski udjel u rasponu od 25 do 15 %. Za indikator koje se nalazi izvan korita (kopnena staništa) i na koji zahvat može imati indirektan utjecaj uzet je težinski udjel od 5 %.

Vrednovanje varijantnih rješenja po ekonomskom aspektu izvršeno je na temelju analize troškova i koristi od njegove provedbe (eng. Cost Benefit Analysis - CBA). Za svako varijantno rješenje izrađena je CBA analiza kojom su određeni financijski pokazatelji.

Najveći broj bodova dobila je varijanta 4B - Višenamjenski objekt koji ne ugrožava lokaciju Toplice Lešće (velika). Ta je varijanta najpovoljnija i po ključnom kriteriju promjena vodnog režima. Akumulacija je dovoljnog volumena da dnevne i satne oscilacije protoka uslijed rada HE Lešće sa 120 m³/s svede na 0 m³/s, odnosno da nema oscilacija protoka, pa tako ni vodostaja i brzina. Izlaz iz akumulacije je konstantan protok bez oscilacija, čime se ostvaruje i povoljniji režim nego prije izgradnje HE Lešće. Varijantnim rješenjem ostvaruju se i dodatne koristi od proizvodnje električne energije.

ZAKLJUČAK

Za stabilnost elektroenergetskog sustava vrlo su važne hidroelektrane jer imaju mogućnost akumuliranja energije i uključivanja u mrežu u vrlo kratkom roku. One sudjeluju u pokrivanju dnevnih „vrhova“ potrošnje električne energije. Slijedom toga variraju i ispuštene količine vode nizvodno od elektrane, odnosno mijenja se vodni režim nizvodno. Iskorištavanju hidroenergetskog potencijala pojedinog vodotoka potrebno je pristupiti planski i cjelovito uz suradnju javnih društava zaduženih za proizvodnju električne energije i za upravljanje vodama. Vodni režim nizvodno od hidroelektrane mora biti u skladu s prirodnim mogućnostima i uvjetima na lokaciji te prihvatljiv s ekološkog i sociološkog stajališta.

LITERATURA

- [1] Elektroprojekt d.d. Zagreb (1989.): *Kompleksno uređenje sliva Kupe*
- [2] Elektroprojekt d.d. Zagreb (2021.): *Višenamjenski objekti za poboljšanje vodnog režima uslijed rada HE Lešće na rijeci Donjoj Dobri nizvodno od HE Lešće - Idejno rješenje, 2021.*
- [3] Elektroprojekt d.d. Zagreb (2022.): *Višenamjenski objekti za poboljšanje vodnog režima uslijed rada HE Lešće na rijeci Donjoj Dobri nizvodno od HE Lešće - Studija izvodljivosti, 2022.*

AUTOR

Nenad Heček, dipl. ing. građ. ^a

^a Elektroprojekt d.d., Alexandera von Humboldta 4, Zagreb, Hrvatska, nenad.hecek@elektroprojekt.hr



R 2.13.

SPECIFIČNO STANIŠTE KAO MJERA ZA SMANJENJE UTJECAJA HIDROELEKTRANA NA OKOLIŠ

Andraž Hribar

SAŽETAK: Brana na vodotoku dio je svake hidroelektrane koji predstavlja najveću promjenu u prostoru i ima najveći utjecaj na okoliš tijekom njezinog rada. Moderni pristupi izgradnje akumulacija zahtijevaju sveobuhvatan i multidisciplinarni pristup. Uključivanje široke skupine stručnjaka iz različitih područja, s jedne strane, otvara mnoga pitanja, ali s druge strane vodi do rješenja koja smanjuju utjecaj na okoliš prilikom smještaja hidroelektrane u prostor tijekom izgradnje i tijekom rada hidroelektrane. Primjer iz prakse su protočne akumulacije na donjoj Savi u Sloveniji, gdje su za vrijeme izgradnje hidroelektrane uređena zamjenska staništa, a tijekom rada se na temelju praćenja i suradnje s ekološkim, biološkim i drugim stručnjacima prirodnih znanosti prikupljaju podaci i oblikuju nova znanja o prostoru. To omogućuje prilagodbu promjenama u prirodi koje su neizbježne jer upravo priroda daje prostoru dinamiku. Statički objekti poput hidroelektrana moraju se prilagoditi toj dinamici i ne smiju se suprotstavljati prirodi (tradicionalni pristup gradnji hidroelektrane) nego prihvaćaju nove prirodne uvjete, a nova rješenja moraju obuhvaćati prednosti koje pruža akumulirana voda.

Održavanje hidroelektrana trebalo bi se voditi rutinskom aktivnošću. Međutim, nove spoznaje o migracijama organizama poput riba, dolaskom novih vrsta na to područje kao što su dabrovi, širenju novih invazivnih vrsta poput raznolike trokutnjače (*Dreissena polymorpha*), promjene hidrološkog režima rijeke (npr. prijelaz Save iz snježno - oborinskog režima u oborinski) i klimatske promjene, zahtijevaju razvoj i prilagodbu. Svi novi postupci danas se moraju provoditi prema načelima kružnog gospodarstva, a treba uzeti u obzir i praćenje ugljičnog otiska, koji je bitniji u svezi sa sedimentima. U društvu HESS imamo uspostavljen dvostruki sustav: praćenje stanja protočnih akumulacija u našem upravljanju s jedne strane i oblikovanje skupa željenih mjera za povećanje ekološke i društvene vrijednosti. Sustav omogućuje usporedbu oba skupa mjera i djelovanje kako bi se postigla dodana vrijednost pri svakoj sanaciji ili modifikaciji. Primjera takvog djelovanja na donjoj Savi ima mnogo. Za vrijeme gradnje hidroelektrane Brežice ciljano smo uspostavili šest specifičnih staništa i nekoliko nespecifičnih područja unutar akumulacije kako bismo povećali vrijednosti Save kao ekosustava. Hidroelektrana Boštanj izgrađena je prije 20 godina, a sada se planira novo stanište u okviru projekta uređenja obale dijela akumulacije.

KLJUČNE RIJEČI: Hidroelektrane i ekologija, Smanjenje utjecaja energetske objekata na okolinu, Povećanje ekološke vrijednosti okoline

DESIGN OF SPECIFIC HABITATS AS A MEASURE TO REDUCE THE IMPACTS OF HYDROPOWER PLANTS ON THE ENVIRONMENT

ABSTRACT: A dam on a watercourse is a part of each hydropower plant that represents the greatest spatial change and has the biggest impact on the environment during a HPP operation. A modern implementation of a reservoir construction requires a comprehensive, multidisciplinary approach. On the one hand, the involvement of a wide range of experts from different fields creates many issues, but on the other, it leads to a solution that reduces the environmental impact of the HPP spatial placement during its construction and operation. There are several run-of-the-river HPPs on the lower Sava River in Slovenia that exemplify good practice. Substitute habitats were arranged during the HPP construction, while during its operation, based on the monitoring and collaboration of experts from the fields of ecology, biology and other natural sciences, data is collected and new insights into the ecosystem are gained. This enables adaptation to changes in nature that are imminent since it is nature that gives a space its dynamics. Facilities, such as HPPs, have to adapt to this dynamics, not oppose it (traditional approach to HPP construction), and new solutions have to use the advantages provided by the reservoirs.

In principle, HPP maintenance should be a routine activity. However, new findings about the migration of organisms (e.g. fish), arrival of new species in an area (e.g. beaver), spread of new non-native species (e.g. zebra mussel, *Dreissena polymorpha*), changes in the hydrological regime of a river (e.g. the Sava River transition from a snow - rain regime to a rain regime) and climate change require development and adaptation. All new measures have to be carried out according to principles of circular economy, with the carbon footprint, which is more related to sediment, taken into account as well. At HESS, there is an established dual system: the monitoring of run-of-the-river HPPs we manage and the creation of a set of desirable measures to increase environmental and social values. This system enables a comparison of both sets of measures and actions to achieve added value for each rehabilitation or modification. There are many examples of good practice on the lower Sava River developed using this principle. During the construction of the HPP Brežice, we established six specific habitats and several non-specific areas within the reservoir to increase the value of the Sava as an ecosystem. A new habitat as part of the project to improve the bank of Kopolje at the Boštanj HPP, which was built 20 years ago, is in the phase of development.

KEYWORDS: Reducing the impact of energy facilities, Increasing the environmental value, Maintenance with added value

1. UVOD

Razmišljanje o zaštiti prirode pri smještanju novog objekta ili uređenja prostora zapravo je usporedba između onoga što postoji sada i onoga što će biti. No, već kod onog "što jest" nailazimo na zaplet: šta je trenutno stanje prirode? Je li trenutno stanje doista ono što želimo sačuvati? Kada govorimo o rijekama, ekolozi u srednjoj Europi često smatraju da je "optimalno prirodno" stanje rijeka bilo u razdoblju između 1800. i 1850. godine, kada je postignuta najveća raznolikost vrsta u biološkom smislu [1], [2]. Ako uzmemo u obzir podatak da je prema procjenama u Srednjoj Europi 95 % vodotoka na

neki način degradirano, onda danas zapravo u startu razgovaramo samo o tome koliko je to stanje degradirano. Dakle, kada mijenjamo (smještamo novi objekt ili uređaj), želimo li stvarno sačuvati ono što jest, dakle degradirano stanje? Barem će neki reći da ne. Želimo više, nešto bolje. Čak i drugi, oprezniji, vjerojatno će se složiti da je nešto bolje svakako poželjno.

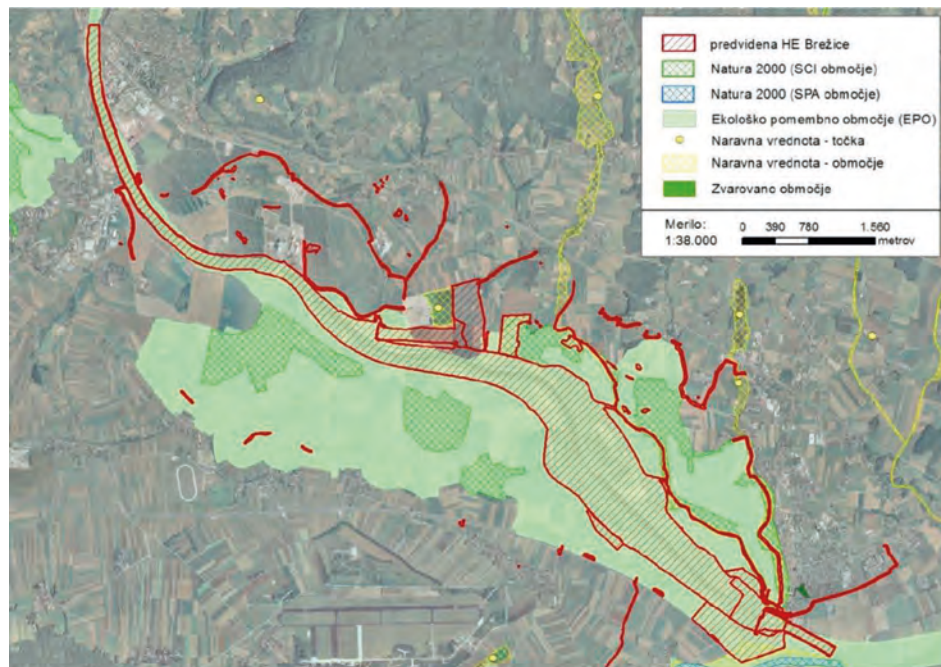
Drugi dio početne izjave “ono što će biti” odnosi se na planiranje i predviđanje u kakvom će stanju priroda biti nakon izgradnje ili uređenja. Suvremeni pristup uključuje različite struke i znanja, s ciljem jasnog definiranja što i kako treba biti. Bez sumnje, danas znamo mnogo. Znanstveni pristup temelj je današnjeg razvoja, stoga bi mu svi stručnjaci za prirodne znanosti (znači i inženjeri i biolozi) trebali slijediti. Međutim, znanstveni pristup također zahtijeva da sagledamo cijelu sliku (ne smijemo zaboraviti šumu dok proučavamo lišće). Zanimljiv je primjer proširenja luke u Singapuru. Staništa i s njima cijeli ekosustav, naravno, potpuno su drugačiji od onih u Sloveniji ili Hrvatskoj, ali sličnost u procesima smještaja objekta i dohvat struke mogu biti poučni. Singapur s lukom jedno je od najbrže rastućih područja na svijetu i izravno (fizički) utječe na koraljni greben koji je nekada pokrivao više od 100 km². Ni protivnici uništavanja koraljnog grebena, niti stručnjaci s investitorske strane nisu očekivali da će se koraljni grebeni i cijeli koraljni ekosustav pojaviti na podvodnim pilotima molova [3]. Kada su primijetili procvat prirode na podvodnim stupovima, retrospektivno je bilo logično da će se to dogoditi: radi se o velikim novim površinama zaštićenima od oluja i utjecaja plovidbe upravo na dubinama s dobrim osvjetljenjem. Nešto što je iz retrospektive očito, nitko prije toga nije mogao predvidjeti. Znanstveno je pitanje: Što sve još ne znamo?

2. PRIMJERI „PRIRODNIH” STANIŠTA

Preselimo se bliže, u Sloveniju, na donju Savu, koja seže od Zidanog mosta do granice s RH. U trenutku smještaja HE Brežice u prostor, stručnjaci su kreirali rješenja (prostorna uređenja) koja bi trebala u prirodi stvoriti određene uvjete i rezervirati prostor za život određenih organizama. Pritom su se stručnjaci u velikoj mjeri oslanjali na elemente koje je stvorila priroda i koji su (bili) domaćin mnogih organizama: Poplavna šuma nazvana Vrbina kod Brežica, šljunčane jame, suhi travnjaci, močvare i jezera. No, je li ih doista stvorila priroda?

U poplavnoj šumi Vrbina kod Brežica većinom rastu topole, koje su sađene od 1952. godine nadalje za proizvodnju u Tvornici papira Krško. Topole su posađene u redovima, cijela plantaža u početku zauzimala je 17 hektara, a u godinama najvećeg obujma 555 hektara. Plantaža je bila podijeljena na kvadrante razdvojenima pravokutnim šumskim cestama. Pojedini kvadranti iskorišteni su kad je bila drvena masa zrela, a potom su sadili sadnice uzgojene u obližnjem rasadniku. Da bi stvorili mjesto za plantažu topole uklonili su tadašnju poplavnu šumu uglavnom sastavljenu od poplavnog hrasta. To je impozantno drvo, visoko do 40 metara i s promjerom debla većim od 2 metra. Topola brzo nakuplja drvenu masu i, nakon 8 - 10 godina s promjerom debla od 20 cm, već je prikladna za sječu [4]. Promjena iz prirodne poplavne hrastove šume u nasad topola nesumnjivo je značila izuzetno osiromašenje ekosustava. To je bio industrijski zahvat bez ekološke promišljenosti. Posljednje sađnje topole obavljeno je 2009. godine, a od tada nasad propada. Propad se, naravno, odnosi samo na vidik industrije i proizvodnje drvene mase, a s aspekta zaštite prirode započelo je uravnotežavanje ekosustava prirodnim procesom

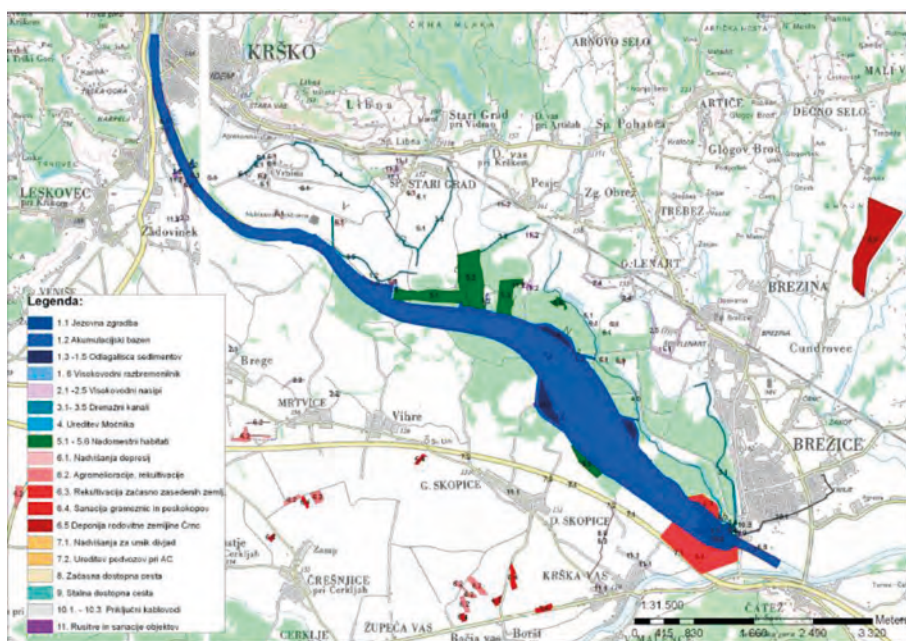
naseljavanja drugih organizama i smanjenjem monokulture (topole). Jer monokultura je s aspekta prirode neodrživa. U takvim uvjetima naselili su se neki organizmi, uključujući i crveni kukac nazvan grimizna plosnatica (*Cucujus cinnaberinus*), koji je u umirućoj kori drveta pronašao bogato stanište. I taj kukac je rijedak, pa ga je trebalo sačuvati. Sažetak: Pošto se tijekom izgradnje HE Brežice smanjila površina nekadašnje plantaže, trebalo je sačuvati umjetno stvoreno stanište, za koje se u trenutku njegovog nastanka nije smatralo da će imati ekološku vrijednost (monokultura). A čuva se takvo stanje staništa koje je s prirodne točke gledišta neodrživo (prirodno neodrživa dominacija jednog tipa staništa koja je na kratak rok uzrokovala ekspanziju određenog tipa organizma - kuku-a).



Slika 1. Zaštićena područja i prikaz infrastrukturnih uređenja HE Brežice [5]

Rijeka Sava, prije izgradnje HE Brežice, imala je oko 90 metara široko korito u obliku trapeza s ojačanim obalama i poplavnim područjem oko struge. Poplavno područje bilo je ponegdje ograničeno zaštitnim nasipima. A tamo gdje nije bilo ugroženih objekata voda se slobodno preljevala i poplavlivala. Iz šljunčanih jama vadi se šljunak i budući da su duboke ispod razine podzemne vode, uvijek nastane jezero. Obično se kod iskopa šljunka jama širi u jednom smjeru kako se miče fronta iskopa. A druge obale s vremenom zarastu i postanu stanište za mnoge organizme. Umjetna jama s vremenom stvara različite vrste staništa; od strmih do blagih obala, od gologa do obrasloga terena, od čiste šljunčane obale do korijenja i mulja na plićaku. Poplavom rijeke naseljavaju se ribe u ta vodna tijela, a poplavno premještanje sedimenta također premješta organizme s dna rijeke koji predstavljaju hranu ribama i vodozemcima. Vodozemci pronalaze nove vodene površine za selidbu, ptice i kukci se naseljavaju još brže. Fokusirajmo se na ptice, posebno ugrožene vrste bregunica (*Riparia riparia*) i žuta pčelarica (*Merops apiaster*).

Ove ptice svake godine tijekom selidbe iz Afrike traže svježe erodirano područje uz rijeku, gdje je voda tijekom posljednjih proljetnih poplava odnijela obale i stvorila strmu šljunčanu obalu. U šljunčanoj obali kopaju gnjezda, dok ih strma obala iznad vode štiti od zmija i lisica. Rijeka Sava prestala je odnositi obale zbog dva stoljeća preoblikovanja u trapezoidno korito s ojačanim obalama. Klimaks tih zahvata dogodio se između 1850. i 1950. godine izgradnjom južne austro-ugarske željeznice (dionica Zidani Most - Sisak), izgradnjom cesta (duž donje Save već je prolazila rimska cesta između Celeia (Celje) i Neviodunuma (Drnovo pri Krškou, gdje se nalazila važna luka), širenjem gradova i razvojem industrije (Radeče, Sevnica, Krško), a ne treba zanemariti ni utjecaj širenja poljoprivrednih površina. I za vrijeme bivše Jugoslavije oblikovanje rijeke se nastavilo, što se ljepo vidi iz katastra vodno-gospodarskih radova. Rezultat tih zahvata je fiksirana obala koju voda ne erodira i ne stvara nove gole strme obale koje su potrebne bregunicama i žutim pčelaricama. Stoga su ptice pronašle nove lokacije uvijek novih prikladnih obala - u iskopima šljunaka, točno na frontama iskopa, gdje je svake godine nova obala. Rezime: Prilikom dodjeljivanja koncesija za iskop, šljunčane jame smatraju se degradacija okoliša bez bilo kakve ekološke vrijednosti (za svaku šljunčanu jamu prilikom izdavanja koncesije mora se izraditi projekt sanacije). U slučaju izgradnje protočne akumulacije HE Brežice, zbog koje su potopljene neke šljunčane jame, njih se moralo nadomjestiti izgradnjom novih, zamjenskih šljunčanih obala iznad vodene površine, simulirajući staništa u šljunčanim jamama.



Slika 1: Prostorni prikaz zahvata tijekom izgradnje HE Brežice; opis nekih oznaka za objašnjenje opisa u članku: brojevi na slici 5.1, 5.2 i 5.5 su Nadomjestno stanište (NH1, NH2 i NH5), koji predstavljaju nove vodene površine kao zamjenu za bivše šljunčane jame. Broj 5.3 je NH3, koji na južnom dijelu predstavlja nova šumska područja, a na sjevernom novi suhi travnjak. Broj 5.6 je NH6, gdje se nalazi jezero / bara za barsku kornjaču.

3. PRIMJERI „UMJETNIH” STANIŠTA

Može li stanište biti umjetno ? Stanište u kontekstu prirode znači životni prostor organizama. Ako ga izgradi čovjek, može li to biti prirodno ? Bitna karakteristika prirode su procesi, procesi stvaraju promjene, a upravo su promjene dinamika koja stvara raznolikost staništa, kao što su različite dubine vode, različite obale šljunka, različite kvalitete tla, različite granulacije sedimenata. Te razlike omogućuju različitim organizmima lokalne uvjete za život, stoga je ova dinamika izuzetno važna. Kada gradi čovjek, obično gradi nešto nepokretno, nešto što će ostati čvrsto tijekom cijelog životnog vijeka. Svaki objekt mora ispunjavati osnovna svojstva. Je li to kompatibilno s prirodom ?

Kao što je opisano u prethodnom poglavlju, ukalupljivanje rijeke promijenilo je Savu i zaustavilo je prirodne promjene trase struge. Kao što je već spomenuto, prije izgradnje HE Brežice, rijeka Sava imala je širinu otprilike 90 metara. Kartografski arhivi austro - ugarskih katastra prikazivali su rijeku u Brežicama čija je glavna struga bila široka 500 metara, uz niz sporednih struga, rukavaca, meandara i drugih oblika (krivulje, uvalice, mrtvaci, jezera, ...). Sve te forme nastaju kada rijeka tijekom poplava stvara novu glavnu strugu a staru postupno zasipa, prelazi u rukavac, a zatim jezero, zatim mrtvac, bara, močvara i na kraju suha (periodički poplavljena) tla. Takve rijeke u Brežicama više nema od 19. stoljeća, ali i dalje postoje ostaci nekadašnjih struga i drugih vodenih oblika. Takve bare i močvarna područja bile su bogato stanište, pa su stoga pri izgradnji HE Brežice stvoreni novi takvi oblici. Stoga se nije samo očuvalo stanje rijeke prije izgradnje HE Brežice, već se željelo “poboljšati” trenutačno stanje prirode. Primjer takve mjere je stanište nazvano NH6, koji je prioritetno bio namijenjen barskoj kornjači (*Emys orbicularis*). Stanište je dizajnirano kao pola jezero i pola bara, s obalnom dinamikom morfoloških oblika i dubina vode, te dovoljno šljunkovitim prostorom uz vodu gdje kornjače mogu napraviti gnijezda i sunčati se. Svi podaci nakon izgradnje ukazivali su na uspjeh. Nakon nekoliko godina “obratovanja” staništa, dogodile su se određene promjene: zbog nedostatka tekuće vode koja bi povremeno poplavila šljunkoviti teren, taj teren je počeo zarastati i kornjače su gubile prostor za sunčanje. Dabar je iskopao kanal iz obližnjeg potoka do bare i tamo izgradio gnijezdo. Kroz kanal dolazi do tekuće vode i preko nje do mjesta za hranjenje. Priroda ide svojim putem. Odvijaju se prirodni procesi, ali s njima gubimo u startu smisao staništa. Je li ovaj objekt uspješno izgrađen ? Djeluje li uspješno ?



Slika 2. Nadomjestno stanište 6 (NH6), namijenjen barskoj kornjači, otprilike 2 godine nakon izgradnje. Vidljive su izvorno gole površine šljunka koje se postupno zarašćuju. S desne strane vidljivo je oboreno drveće, gdje je aktivan dabar. [8]

Suhi travnjaci su se širili na područjima gdje je rijeka nanosila šljunak. Takva nepovoljna staništa najprije su naseljavale pionirske biljke koje su stvorile tanak sloj humusa, omogućujući rast manje zahtjevnim biljkama. Tijekom poplava, veće biljke bi odnjela voda, stvarajući specifično stanište travnjaka sa bogatim ekosustavom cvjetnica, uključujući 25 ugroženih vrsta [5]. Prilikom smještaja HE Brežice u prostor, rezervirano je i mjesto za takva staništa, nazvano NH3. Pripremljena su tla i stvoreni uvjeti slični onima koje nalazimo u prirodnim suhim travnjacima. Kao i svaki prirodni oblik, suhi travnjaci prolaze kroz niz stadija, jer povećana količina humusa omogućava većim biljkama da razviju dovoljno snažan korijenski sustav koji može izdržati poplave. S vremenom, travnjak će preći u šumu. Ako se taj prirodni proces dogodi na izgrađenom staništu i tako izgubimo travnjak - je li projekt uspješan? Je li stanište uspješno u funkciji, ili će biti krivnja onih koji su odgovorni za održavanje, ako nisu očuvali odgovarajuće uvjete (nisu očuvali siromašnu zemlju)?

4. IMA LI STANIŠTE FAZU DJELOVANJA ?

Na donjoj Savi trenutčno djeluje 5 hidroelektrana s pripadajućim utjecajnim područjem. Mjere provedene tijekom izgradnje pojedinih hidroelektrana prepuštene su različitim upraviteljima. To se posebno odnosi na HE Brežice. Pri izgradnji prethodnih elektrana, malo ili djelomično, pažnju se posvećivalo prirodi, dok je HE Brežice pilotni projekt u Sloveniji, pa čak i u svijetu, kad je riječ o pažnji posvećenoj prirodi. Prvo su se definirale sve prirodne vrijednosti, zatim su se razmatrali mogući koraci, planirale ili projektirale mjere i na kraju su se objekti i uređenja izgradili, a aktivnosti i procesi započeli. Na primjer izgrađen je bio prolaz za vodene organizme za premošćenje visinske razlike između vode iznad i ispod brane. U prolazu mora se održavati odgovarajuća razina vode bez

obzira na hidrološko - hidrauličke uvjete na rijeci Savi. Drugi primjer je već spomenuta obala za bregunice i žute pčelarice; budući da rijeka ne može erodirati i stvarati svježiji iskop šljunka, potrebno je očuvati strmu obalu tako da se svake toliko otkopa. Tamo gdje postoje upute za održavanje, možemo govoriti o djelovanju, čak i ako se radi o zaštiti prirode. Naime, ribe prolaze kroz prolaz za vodene organizme, čak ih je i mnogo. A ptice također svake godine kopaju nova gnijezda u umjetno izgrađenim obalama. No procjena učinkovitosti nema smisla, kao što je objašnjeno na primjeru barske kornjače. Jer priroda uvijek uspijeva, pitanje je samo sviđaju li se rješenja ljudima. Dakle, djelovanje po definiciji ne postoji, jer je ono ponavljajući proces. A pokretač prirode je promjena.

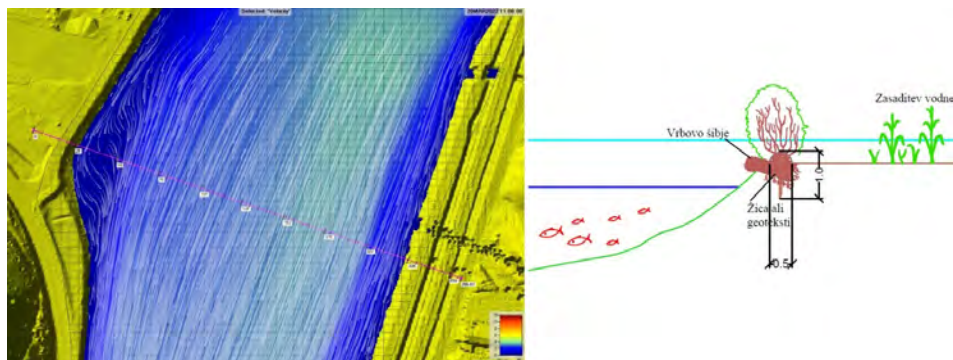
5. PRISTUP IZGRADNJI NOVOGA STANIŠTA

Sada imamo sposobnost postupati znanstveno i multidisciplinarno, svjesni smo kako "priroda djeluje", razumijemo promjene u prirodi, prepoznajemo važnost prirodnih oblika i imamo znanje (kako tehničko tako i biološko) kako oblikovati prostor na način koji će odgovarati odabranim organizmima.



Slika 4. Otok sedimenata na akumulaciji HE Boštanj na rijeci Savi [6].

Na protočnoj akumulaciji hidroelektrane Boštanj, u blizini naselja Kompolje, nalazi se suženje korita rijeke. Prije ovog suženja, zbog hidrauličnih uvjeta, voda na desnoj obali zastaje i taloži sediment. Budući da razina vode na protočnoj akumulaciji dnevno varira zbog proizvodnje električne energije, nakupila se već značajna količina sedimenta, nastao je otok. Sedimenti koje nosi rijeka Sava uglavnom su vrlo sitnog zrna i sadrže mnogo organskih tvari, što čini otok sličnom hrpi blata. Fizičke karakteristike ovog materijala su takve da zadržava vodu. Budući da je lagan, ne slegne se, ne konsolidira i, kao rezultat toga, ne može stvoriti dovoljno čvrstu podlogu na kojoj bi mogle rasti biljke, unatoč mnogim sjemenkama u vodi. Stoga je naša ideja da se ne otkopa otok i obnavlja obala u osnovnom obliku trapeznog korita utvrđenog skalama. Cilj je da se lokalitet prilagodi hidrauličkim uvjetima i da se omogući prirodna rast. Nakon razgovora s Agencijom za zaštitu prirode i okoliša (ZRSVN), zaključeno je da bi lokalitet s većom morfološkom dinamikom povećao ekološke uvjete na području HE Boštanj. Stoga je ideja preurediti ovo područje, koje trenutno nema značajnu ekološku vrijednost, kako bi se ekosistem obogatio i stvorio se prostor za planove kakve god već priroda ima.



Slika 3. Rezultati studije uređenja obale [7]. Lijevo: Prikaz rezultata hidrauličkih izračuna. Desno: Prikaz idejnog rješenja uređenja obale

Hidraulična analiza pokazala je da nema opasnosti za uređenje obale koji će stvoriti kombinaciju čvrste površine i vodenih laguna, jer čak ni kod najvećih protoka rijeka Sava na tom mjestu neće erodirati lokalitet. Izradili smo koncept uređenja obale a sada se priprema projekt za izvođenje nove obale. Stvorit ćemo ljepšu obalu koja neće narušavati izgled rijeke Save, uz koju će se provoditi rekreacija i turizam. Utjecaj na proizvodnju je zanemarivo mali, jer otok već sada smanjuje volumen vode koji se koristi za proizvodnju električne energije. Troškovi održavanja bit će manji, jer neće biti potrebno čišćenje i održavanje osnovne utvrđene obale. Priroda će dobiti novo stanište.

6. BUDUĆNOST SUDJELOVANJA S PRIRODOM

Je li moguće surađivati s prirodom? Je li priroda spremna surađivati? Sve što možemo učiniti jest biti svjesni prirodnih procesa, pokušati ih što bolje razumjeti i shvatiti njihovu složenost i povezanost. Elektroenergetski objekti ne grade se kao svrha sami sebi, već se grade s razlogom. Trebamo ih. Istodobno, određena doza samokritičnosti ima smisla kad je riječ o “propisivanju” prirodnih procesa i predviđanju što će priroda učiniti ili što možemo očekivati od ekosustava u budućnosti. Činjenica je da ne znamo sve, a složenost prirode je zadivljujuća, pa je stoga određena doza poniznosti opravdana.

Čovjek treba svoj prostor za život, a isto tako ga treba i priroda. Razmišljanje o prirodi ključno je ako želimo preživjeti na ovom planetu. Izgradnja HE Brežice primjer je dobre prakse kad je riječ o pažnji koja je posvećena prirodi i trudu koji je uloženi, ali i novostečenom znanju. A najveći primjer dobre prakse jest to što se osigurao i uredio prostor za prirodu prilikom izgradnje HE. Time se omogućava prirodna dinamika i promjene u okolišu. Čak i ako neka mjera za očuvanje prirode sada nije potpuno onakava kakva je bila projektirana, pa to još uvijek može biti primjer dobre prakse. U najgorem slučaju, kao pokazatelj, onoga što možemo učiniti još bolje.



Slika 4. Primjer tipičnog vodenog tijela iz Slovenije; vide se različita staništa; Proces erozije na lijevoj strani slike stvara strmu obalu, u kojoj ptice grade gnijezda. Na desnoj strani taloži se šljunak gdje pionirske biljke počinju rasti, dok se kornjače sunčaju na kamenju. Plitki dijelovi i vrtlozi stvaraju različite uvjete za različite veličine riba, a različite obalne biljke pružaju hranu različitim organizmima.

Takva dinamika staništa pukušavala se postići i na potocima oko HE Brežice. “Izgradnja” takvih staništa neizbježno vodi u promjene jer će priroda već s prvom kišom promijeniti takav “objekt”. Faza obratovanja takvog “objekta” u smislu ponavljanja procesa stoga ne postoji. Sve što ljudi mogu učiniti je osigurati prostor i pustiti prirodnim procesima da idu svojim prirodnim tijekom.

ZAKLJUČAK

Budući da je cijeli članak napisan u popularnom stilu, dopustite mi da završim s tehničkim komentarom. U tehnici smo navikli rukovati brojkama, procjenjivati prema kriterijima i razvrstavati u razrede. Prirodu je teško klasificirati na takav matematički način iz više razloga. Prirodni sustavi su previše složeni da bi ih jednoznačno procjenjivali, često ih potpuno ne razumijemo. Značaj i vrijednost prirodnih oblika uvijek procjenjujemo s antropološkog stajališta, što je automatski subjektivno. Objektivna procjena vrijednosti nije moguća, još manje s gledišta prirode. Vrijednost pojedinog organizma ili lokalnog staništa za cijeli ekosustav nije moguće procijeniti. Na kraju, treba uzeti u obzir i ljudski faktor i različite razloge za postupke pojedinaca, uključujući inženjere i znanstvenike, koji katkad uzimaju u obzir samo ono što se dogodilo u njihovoj karijeri, dok prošlost i budućnost nadilaze okvire njihovog interesa. Priroda nije tako uska, pa moramo priznati da ne znamo sve. Mjere za koje su stručnjaci čvrsto vjerovali da će djelovati, priroda je “odvela svojim putem”. Često je priroda degradaciju okoliša preoblikovala u nešto

neočekivano, što cijenimo i želimo sačuvati nakon desetljeća. Stoga intervencije u prostor, kao što su izgradnja energetskih objekata, nisu nužno takva degradacija okoliša kakva se čini na prvi pogled. Zbog našeg vlastitog postojanja na planetu, svakako je potrebno uložiti trud, vrijeme i novac u očuvanje prirode prilikom planiranja. Međutim, očuvanje prirode ne bi trebalo strogo temeljiti na planiranju i predviđanju prirodnih procesa i prirodnog stanja, već je mudro barem djelomično dopustiti da prirodni procesi oblikuju prostor na svoj način. Suvremeni pristupi planiranju zahtijevaju takvu širinu gledišta, a također je potrebna i multidisciplinarnost kako bi se uključili svi ekološki aspekti. Čak i u trećoj fazi projekata, fazi djelovanja elektroenergetskog objekta, uvijek postoji prostor za razmatranje mogućnosti povećanja ekološke vrijednosti, a ekološka je vrijednost veća već s time da se prirodi pruži prostor.

LITERATURA

- [1] Plachter, H. 1995. A Central European Approach for the Protection of Biodiversity. V: Ogrin, D. (et al.) 1996.
- [2] Ogrin, D. 1995. Dileme v načrtovanju za varstvo narave: primer reke Mure.
- [3] Lin Sien, C (et al.) 1988. The Coastal Environmental Profile of Singapore.
- [4] Lubi, J. 2011. Gospodarjenje s topolovimi nasadi na krško-brežiškem polju.
- [5] Geateh, d.o.o. 2014. Poročilo o vplivih na okolje za HE Brežice.
- [6] Hribar A. 2015-2022. Osebni arhiv fotografij in tehničnega gradiva (gradivo z avtorskimi pravicami je uporabljeno s privolitvijo lastnika, HESS, d.o.o. in Infra, d.o.o.).
- [7] Kryžanowski, A. 2022. Študija možnosti ureditve brežine reke Save pri naselju Kompolje.
- [8] Internet (google maps, kolovoz 2023.)

AUTOR

Andraž Hribar, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž. ^a

^a HESS, d. o. o., Cesta bratov Cerjakov 33A, 8250 Brežice, Slovenija, andraz.hribar@he-ss.si



R 2.14.

ZA I PROTIV IZGRADNJE MALIH HIDROELEKTRANA (MHE) U SRBIJI

Stevan Prohaska

SAŽETAK: Pitanje izgradnje malih hidroelektrana (MHE) u Srbiji postalo je veoma aktualno i u poslednje vreme izaziva velike polemike. Postoje zagovornici za izgradnju, a još više protivnika izgradnji MHE, često sa dijametralno suprotstavljenom argumentacijom. Protivnici izgradnje MHE često nastupaju sa stavovima koji nisu dovoljno stručno argumentovani, a usmereni su na ekološka i sociološka pitanja, što imaju veliki negativni odjek u široj javnosti. Posebno je zabrinjavajuće što ovakvi istupi najčešće služe za promociju lokalnih političkih interesa.

Sa gledišta pravne regulative u Srbiji postoje precizni zakonski akti kojima je regulisano pitanje izgradnje MHE. Kako se i da li se te precizne procedure sprovedu u delo od strane nadležnih državnih organa, otvoreno je pitanje.

Autor ovoga rada je pokušao da na koncizan način iznese prednosti i mane izgradnje MHE u Srbiji u odnosu na ostale izvore energije sa tehno - ekonomskog i ekološkog aspekta.

KLJUČNE RIJEČI: Male hidroelektrane, Prednosti i mane izgradnje MHE, Hidrološko - ekološki potencijal, Minimalno održivi protok, Električna energija

ARGUMENTS FOR AND AGAINST THE CONSTRUCTION OF SMALL HYDROPOWER PLANTS IN SERBIA

ABSTRACT: The issue of small hydropower plants construction in Serbia has lately become a very current and heated issue. There are those who advocate for their construction, but even more those who oppose it, frequently with diametrically opposed arguments. The opponents of small HPPs construction often espouse views that are not argued at a sufficiently scientific level and are focused on ecological and sociological issues, which causes a strong negative response among the general public. It is particularly concerning that such approach mostly serves the promotion of local political interests.

From the legislative standpoint, Serbia has precise legal acts that regulate the construction of small HPPs. In which manner and whether these precise procedures are enforced by competent state bodies is an open issue.

The author of the paper attempted to present, in a concise manner, the advantages and

disadvantages of constructing small HPPs in Serbia with respect to other energy sources from technical, economic and ecological aspects.

KEYWORDS: Small hydropower plants, Advantages and disadvantages of constructing small HPPs, Eco - hydrological potential, Minimum sustainable flow, Electrical energy

1. UVODNE NAPOMENE

Mini - hidroelektrane se u Srbiji grade u skladu sa zakonskom regulativom, strategijama i propisima koje donose vlada ili skupština republike Srbije. Prema Strategiji upravljanja vodama, koju donosi vlada republike Srbije, hidroenergetika, u koju spadaju i male hidroelektrane (MHE), je jedna od delatnosti uređenje i korišćenja voda.

Prema zakonu o energetici, MHE se grade na osnovu pribavljene energetske dozvole, u skladu sa zakonom kojim se uređuju uslovi i način uređenje prostora (Zakon o planiranju i izgradnji). Oba pomenuta zakona donosi narodna skupština republike Srbije. Da bi se izdejstvovala građevinska dozvola za izgradnju jedne hidroelektrane, neophodno je pribaviti niz akata za koja su takođe nadležni državni organi.

U Republici Srbije do sada je izgrađeno oko 100 malih hidroelektrana. I poslednje vreme njihova izgradnja izaziva buru negodovanja protivnika izgradnje malih hidroelektrana, čiji je zahtev momentalno zaustavljanje izgradnje MHE u Srbiji, što je, nažalost, delimično i ostvareno na najvišem nivou (odlukom Vlade Republike Srbije). Protivnici izgradnje MHE, zeleni pokret, mnoge nevladine organizacije (NO) i pojedinci kao glavni razlog navode „uništavanje prirodnih tokova po količini i kvalitetu i njihovo guranje u podzemne tokove“, što u suštini nije tačno, o čemu će biti reči u ovom radu.

2. PREDNOSTI I MANE IZGRADNJE MALIH HIDROELEKTRANA (MHE) U SRBIJI

2.1. Definicija pojma malih hidroelektrana (MHE)

Male hidroelektrane su objekti na rekama koji služe za proizvodnju električne energije (EE) snage ≤ 1 MW. Mogu biti pribranske i derivacione.

Pribranske MHE se najčešće grade u sklopu višenamenskih tehničkih sistema na vodotocima skromnog pada i većih / značajnih protoka. Voda se nalazi u vodotoku u ukupnoj količini i ne gubi se duž toka.

Derivacione MHE se grade na manjim vodotocima sa značajnim podužnim padom toka i manjim protocima. Od ukupne količine vode u reci deo protoka, od vodozahvata (VZ) do mašinske zgrade (MZ), se sprovodi ukopanim cevima (zatvorenim) ili površinskim kanalima. Ostatak vode ostaje u reci i slobodno se kreće duž prirodnog korita.

2.2. Potrebe i problemi sa proizvodnjom električne energije (EE) u Srbiji

Potreba Srbije za obnovljivom energijom je evidentna, jer se 70 % energije u Srbiji proizvodi pomoću termoelektrana (TE). Pored toga Srbija mora ispuniti obaveze koje je preuzela ugovorom sa Energetskom zajednicom kojim je definisan godišnji utrošak od 27 % energije na nivou zemlje iz obnovljivih izvora. Od obnovljivih izvora u Srbiji se koristi: voda (hidroelektrane, akumulacione i MHE), vetar, sučeva energija, biomasa i geotermalna energija.

Termoelektrane (TE) koje proizvode (EE) iz fosilnih goriva, posebno uglja, čije su zalihe u Srbiji skromne, nepovoljno utiču na životnu sredinu pošto:

- zagađuju vazduh,
- zagađuju padavine,
- zagađuju površinske tokove i podzemne vode (direktno i toplotno),
- zagađuju poljoprivredno zemljište,
- otvoreni rudni kopovi uništavaju poljoprivredno zemljište i zagađuju vazduh,
- pepelišta i odlagališta jalovine, takođe, uništavaju poljoprivredno zemljište i zagađuju vazduh.

Vetroparkovi (VP) takođe utiču na životnu sredinu:

- negativno utiče na ptice i slepe miševе,
- izazivaju vibracije na ekosistem ispod stubova i u neposrednoj okolini,
- smanjuju kinetičku energiju struja vetrova,
- utiču na mikroklimu.

Solarni paneli (SP) takođe imaju negativan uticaj na okolinu:

- zauzimaju velike površine zemljišta koje se ne može koristiti na drugi način,
- negativno utiču na ptice.

Uticaj hidroelektrana, a posebno MHE na životnu sredinu je minimalan.

2.3. Prednosti i mane izgradnje MHE

Osnovne prednosti i mane izgradnje MHE ogledaju se u sledećem:

- Pribrenske MHE:
 - uklopljene su u višenamenske hidrotehničke sisteme koji obezbeđuju vodu za više korisnike,
 - uklopljene su u okruženje,
 - sanjuju oscilacije nivoa vode u akumulaciji i na taj način popravljaju ekosistem,
 - skupa proizvodnja EE.
- Derivacione MHE:
 - menja se samo vodni režim na deonici reke od vodozahvata (VZ) do mašinske zgrade (MZ),
 - deo vode se skraćuje kroz cevovod da bi se iskoristila vodna snaga, a ostatak vode se vraća u rečni tok, odnosno ostavlja prirodi, tako da se ukupna voda u istom agregatnom stanju i kvalitetu vraća u rečni tok,
 - skupa proizvodnja EE.

2.4 Osnovni odredbe važeće zakonske regulative za izgradnju MHE u Srbiji

Najbitnije odredbe važeće zakonske regulative za izgradnju MHE u Srbiji, definisane u Zakonu o vodama (ZOV) su:

- skretanje dela vode u cevovod je moguće izvršiti samo u periodima kada je dotok vode na mestu VZ veći od minimalnog održivog protoka (MOP) i to samo do instalisanog protoka, koji najčešće iznosi oko 30 % od prosečnog višegodišnjeg protoka na mestu VZ,
- kontrolu kvaliteta vode vrši Institut za javno zdravlje (član 74 ZOV) i to:
 - uzvodno i nizvodno os VZ,
 - na samom ispusti kod MZ,
- član 3 ZOV u stavci 4 definiše minimalni održivi protok kao protok koji se nizvodno od VZ mora obezbediti u vodotoku za opstanak i razvoj biocenozne i zadovoljavanja nizvodnih korisnika,
- član 81 ZOV definiše da ministar zadužen za vodoprivredu, zajedno sa ministrom zaduženim za zaštitu životne sredine, propisuje način i merila za određivanje minimalnog održivog protoka (odnosno metodologiju). Zakon ne definiše metodologiju već se to radi kroz Pravilnik, koji nažalost, iako je prošlo mnogo godina od usvajanja ZOV, do danas nije donet.

2.5 Otvorena pitanja i dileme u praksi izgradnje MHE u Srbiji i stavovi autora

U ovom radu daju se odgovori na neke od primedbi protiv izgradnje MHS:

1. Radikalno remete hidrografske vodene sisteme.

Hidrografska mreža se u osnovi ne remeti, cevovod je najčešće ukopan ili kanalisiran. Menja se samo vodni režim na sektoru od VZ do MZ za protoke od MOP do Q_{ins} , a hidrotehnički se uređuje korito reke samo u profilima VZ i MZ. Nizvodno od VZ voda se u ukupnoj količini vraća reci, a kvalitet vode ostaje isti duž celog razmatranog sektora

2. Imaju vrlo nepovoljne sociološke posledice, jer se često takvim cevovodima praktično „ukidaju“ delovi toka kroz neka seoska naselja.

U principu MHE se grade na deonicama reka gde postoje značajni podužni padovi (zbog veće proizvodnje EE), daleko od seoskih naselja. Ostalo je stvar izdavanja *lokacijskih uslova* za šta je zaduženo Ministarstvo građevine, saobraćaja i infrastrukture.

3. Gubi se najdragoceniji hidrografsko - ekološki potencijal za razvoj seoskih naselja u brdskim i planinskim područjima (seoski turizam), reke su sa radikalno pogoršanim režimom tečenje, osiromašenim biodiverzitetom i narušeni ambijentalnim vrednostima.

Zašto bi se gubio najdragoceniji hidrografsko - ekološki potencijal ako se korektno ispušta minimalno održivi protok (MOP) po članu 3 ZOV ?? Nizvodno od (MZ) količina vode je nepromenjena i istog kvaliteta.

4. Velika neravnomernost snage MHE vrlo je nepovoljna sa gledišta distribucije sistema na koji je MHE povezana.

Konstatacija je tačna, ali u poređenju sa ostalim obnovljivim energijama, kao što su vetroparkovi, koji se intenzivno grade u Srbiji, gde je projektovana snaga bar 10 puta veće od ukupne snage MHE, koji zbog karaktera vetra u nas (sa veoma značajnom slučajnom komponentom - duvaju „na udar“) izazivaju nepovoljne poremećaje u radu EES, izgradnja MHE ima prednosti.

MHE ne učestvuju u „održavanju“ sistema, a u dijagram dnevnog opterećenja se „pakuju“ u bazis, kao i sve protočne HE.

5. *Nedopustiva je praksa da je izgradnja MHE dopuštena i u ekološki zaštićenim područjima:*

Zakonom o zaštiti prirode (ZZP) Republike Srbije zaštićena područja svrstana su u tri kategorije:

- I. kategorija - zaštićeno područje međunarodnog, nacionalnog, odnosno izuzetnog značaja.
 - Zabranjena izgradnja objekata i korišćenje prirodnih resursa, a ograničavaju se aktivnosti naučno istraživačkog karaktera i praćenja prirodnih procesa.
- II. kategorija - zaštićeno područje pokrajinskog / regionalnog, odnosno velikog značaja.
 - Zabranjena izgradnja objekata i ograničavaju se radovi i aktivnosti na regulaciji vodotokova (vodoakumulacije do 10 miliona m³), melioracione i druge hidrotehničke radove na površini do 10 hektara, izgradnju hidroelektrana do 5 MW i elektrana na bio - gas do 50 KW i drugo.
- III. kategorija - zaštićeno područje lokalnog značaja.
 - Zabranjena izgradnja objekata i ograničavaju se radovi i aktivnosti na izgradnju manjih objekata za pretežno lokalne potrebe, zatim izgradnju hidroelektrana do 30 MW, elektrana na bio - gas do 5 MW, solarnih elektrana do 100 KW i izgradnju vetrogeneratora i to samo u značajno izmenjenim antropogenim područjima u rubnim zonama spoljašnjih granica III stepena.

6. *Treba izmeniti metodologiju određivanja uslova za obezbeđenje ekološkog protoka nizvodno od vodozahvata (pogrešno nazvanog „biološki minimum“).*

Potpuno se slažem. Treba promeniti član 81 ZOV Republike Srbije koji propisuje da se za svaku MHE mora uraditi posebna studija za definisanje MOP. Studija je multidisciplinarna jer zahteva istovremeno angažovanje: *hidrologa, ekologa, biologa i vodo-privrednog stručnjaka.*

ZAKLJUČAK

Imajući u vidu navedeno, a držeći se MAKSIME, koju su imali naši poznati beogradski profesori, a pre svih:

- prof. Milan Verčon (GFB) davne 1965. godine na predmetu Korišćenje vodnih snaga, kada je, ukazavši da tadašnja Jugoslavija nije bila bogata električnom energijom, da se uglavnom snabdevala iz TE na ugalj i NE (Krško), sa svim problemima evidentnog i potencijalnog zagađenja životne sredine, posebno sa gledišta opasnosti na zdravlje stanovništva, apelovao na nas, tada još uvek mlade studente, da se okrenemo obnovljivim izvorima energije i da svaki potencijalni KW hidroenergije iskoristimo u potpunosti,
- prof.dr. Branislav Đorđević (GFB), koji je nasledio prof. Verčona na istom predmetu, mnogo godina kasnije imao je običaj da na brojnim skupovima insistira na tvrdnji da Srbija nije bogata vodom i da treba svaku kap vode iskoristiti,

smatram da izgradnju MHE u Srbiji treba nesmetano nastaviti, uz potpuno poštovanje postojeće zakonske regulative.

AUTOR

prof. dr. Stevan Prohaska, dipl. građ. inž. ^a

^a Umirovljenik, stevan.prohaska@jcerni.rs



R 2.15.

PROBLEMATIKA ZASIPANJA AKUMULACIJE MODRAC

Omer Kovčić, Mufid Tokić, Anadel Galamić

SAŽETAK: Brane i akumulacije, nastale pregrađivanjem rječnih tokova, prouzrokuju zadržavanje riječnog nanosa koji dolazi iz gravitirajućih slivova. To je prirodni proces, uslovljen erozionom produkcijom nanosa u slivu akumulacije, te postojanjem same akumulacije, kao područja vještački značajno smanjenih brzina vode.

Većina velikih akumulacija u Bosni i Hercegovini ima prevashodno energetska namjenu. U toku eksploatacije zapaženi su problemi koji nastaju usljed zasipanja akumulacija riječnim nanosom, koji može ugroziti ili već otežava normalno funkcionisanje objekata.

U skladu sa gore navedenom problematikom sa kojima se suočava i višenamjenska hidroakumulacija Modrac, radi efikasnije optimizacije sistema i upravljanja istom, potrebno je izvršiti procjenu dinamike unosa količine nanosa u hidroakumulaciju "Modrac", te odrediti glavne parametre zasipanja akumulacije kao negativne pojave. Svrha procjene količine nanosa u hidroakumulaciji je ostvarivanje mogućnosti svrshodnijeg gospodarenja prirodnim vodnim resursima, zaštiti od štetnog djelovanja voda kao i zaštiti voda od onečišćenja. Analizom pronosa nanosa na pritokama, te ukupnom količinom nanosa koji se taloži u akumulaciji Modrac, dobijaju se stvarni podaci o količini nanosa u hidroakumulaciji Modrac, dinamika unosa, te stepen onečišćenja ovakve vrste vodnog tijela i kao posljedicu ima smanjenje volumena hidroakumulacije.

U ovom radu je dat pregled problema sedimentacije, režimi transporta sedimenta, tehnike upravljanja sedimentima (strategije i mjere), utjecaj klimatskih promjena na upravljanje sedimentima, kao i vodič održivosti samih akumulacija uz najbolje prakse.

KLJUČNE RIJEČI: Nanos, Akumulacija, Višenamjenske akumulacije, Dinamika unosa nanosa, Klimatske promjene, Režimi transporta nanosa, Upravljanje pronosa nanosa

MODRAC RESERVOIR FILLING ISSUES

ABSTRACT: Dams and reservoirs, created by damming river courses, cause retention of river sediment coming from gravitating watersheds. It is a natural process, resulting from erosive sediment production in the reservoir basin, and the existence of the reservoir itself as an area with artificially and significantly reduced water velocity.

Most large reservoirs in Bosnia and Herzegovina are primarily used for energy purposes. In the course of exploitation, problems arising from the filling of reservoirs with river silt that can endanger or already hinders a normal functioning of facilities, have been observed.

According to the aforementioned issues faced by the Modrac multi - purpose reservoir, in order to optimize the system and manage it more efficiently, it is necessary to evaluate the dynamics of sediment input in the Modrac reservoir, and to determine the main parameters of the reservoir filling as a negative phenomenon. The purpose of estimating the amount of sediment in reservoir is to achieve a potentially more efficient management of natural water resources, protection from adverse effects of water, as well as water protection from pollution. The analysis of sediment transport in the tributaries and the total amount of sediment depositing in the Modrac reservoir provides real data on the amount of sediment in the Modrac reservoir, the input dynamics, the level of pollution in this water body type, and a consequential reduction in the reservoir volume.

The paper will present an overview of sedimentation issues, an overview of sedimentation issues, sediment transport regimes, sediment management techniques (strategies and measures), the impacts of climate change on sediment management, as well as a guide for reservoir sustainability with best practice.

KEYWORDS: Sediment, Reservoirs, Multi-purpose reservoir, Dynamics of sediment input, Climate change, Sedimentation transport regimes, Sediment transport management

1. UVOD

Brana "Modrac" je armirano - betonska brana, koja po svojim tehničkim karakteristikama i količini akumulacije spada u visoke brane. Sastoji se od deset lukova, od kojih tri imaju preklapajuća tijela, devet kontrakcija i dva gravitacijska obalna stupa. Dužina brane na kruni je $L = 205,00$ m, a najveća visina je $H = 27,50$ m. Svodovi su različiti i kreću se od 15,60 do 17,00 m. Debljina svoda iznosi 50 cm u dnu istog, dok debljina svoda na vrhu spomenute brane iznosi do 40 cm. [1]

Za upravljanje akumulacijskom razinom, u normalnim hidrološkim uvjetima, predviđena su četiri osnovna ispusta (broj: 2, 6, 7 i 8) za maksimalni kapacitet $Q = 77$ m³/s (projek-tirano stanje). Na temeljnom ispustu broj 2 izgrađena je elektrana "Modrac" snage 2.000 kW za proizvodnju električne energije korištenjem viška raspoložive vode. Za evakuaciju velikih voda, pored osnovnih odvoda, predviđena su tri preljevna polja, maksimalnih protoka od $Q = 1.000$ m³/s, čime se osigurava evakuacija velikih voda rijeke Spreče ranga javljanja 1/1.000.

Namjena akumulacije, prema redoslijedu prioriteta utvrđenom Zakonom o zaštiti akumulacije "Modrac" (Službene novine Tuzlanskog kantona, broj 15/06) je sljedeća:

- Osiguranje vodom za potrebe stanovništva,
- Osiguranje vode za industriju,
- Osiguranje ekološko prihvatljivog protoka vodotoka Spreče, nizvodno od brane,
- Zaštita od poplava nizvodnih padina,
- Proizvodnja električne energije u malim hidroelektranama,
- Razvoj turizma, rekreacije i vodenih sportova, sukladno navedenom zakonu.

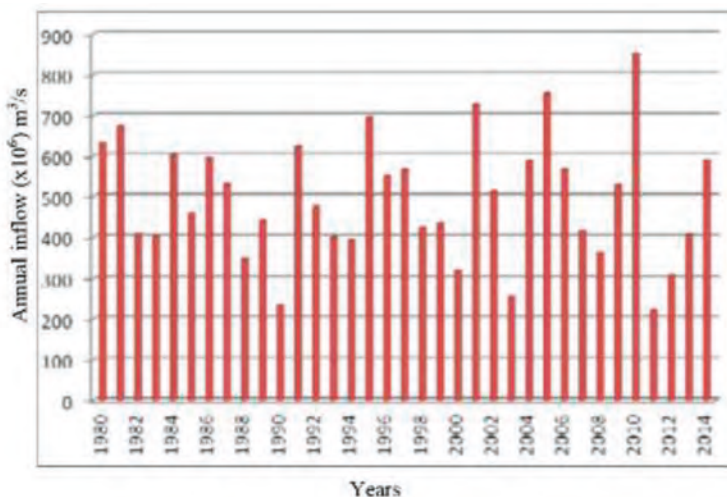
Planom postrojenja određena je minimalna radna razina od 195,00 m n.m., s korisnim volumenom akumulacije 64×10^6 m³. Površina sliva akumulacije Modrac iznosi 1.189 km².

Dakle, u proljeće, kada su prirodni prilivi veći, se ispušta više vode iz akumulacija i

samo u ljetnom razdoblju ekološki prihvatljiv protok određen vodopravnom dozvolom i iznosi $Q = 4,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Ekološki prihvatljiv protok u sušnom dijelu godine sa propisanih $Q = 4,7 \text{ m}^3/\text{s}$ smanjuje se na $Q = 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$, što je nešto iznad minimalnog prosječnog mjesečnog protoka rijeke Spreče $95 \% Q_{\text{min.srednji mjesec } 95 \%} = 0,824 \text{ m}^3/\text{s}$. [6]

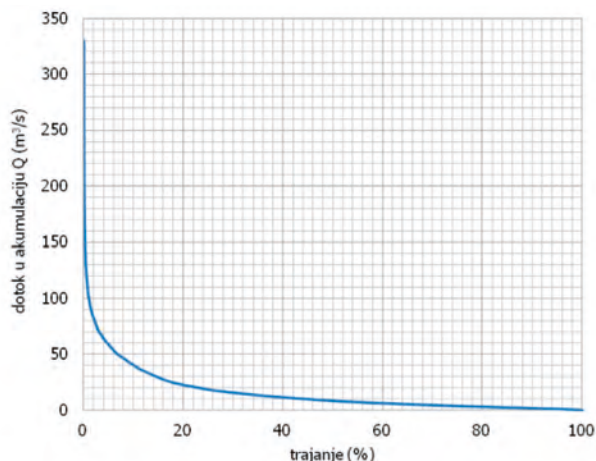
2. HIDROLOŠKE KARAKTERISTIKE SLIVA AKUMULACIJE MODRAC

Dotok vode u akumulaciju Modrac, nije definiran direktno, mjerenjem proticaja na glavnim pritokama Spreče i Turije, već posredno i to da su srednji dnevni protoci određeni na osnovu bilancne jednadžbe, odnosno preko ukupnog volumena dotekle vode, promjene volumena jezera i volumena istekle vode u jedinici vremena, a to je u našem slučaju jedan dan. Na ovaj način, primijenjene jednadžbe vodne bilance dobiven je niz srednjih dnevnih dotoka u jezero za razdoblje 1980. - 2022. Interpretacija ovih podataka je napravljena u obliku varijacija godišnjih dotoka u promatranom razdoblju, kao i vrijednosti srednjih godišnjih proticaja. Iz dijagrama varijacija godišnjih proticaja / dotoka u akumulaciju Modrac (Slika 1), vidljivo je da su ukupni dotoci od 220 do 860 milijuna kubika vode, a srednji dotoci iznose od 300 do 400 milijuna kubika vode [3].



Slika 1. Varijacija godišnjih dotoka u akumulaciju Modrac za period 1980. - 2014.

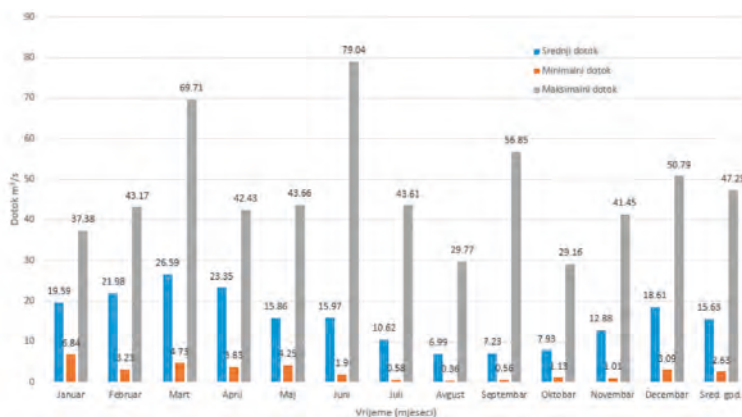
Ovaj dijagram pokazuje izrazitiju cikličnost dotoka u navedenom vremenskom periodu (1980. - 2023.), sa smjenama sušnih i vodnih godina. Sa druge strane, imajući u vidu prirodnu korelaciju dotoka vode i pronosa nanosa, logična je hipoteza da je u vodnijim godinama bio i veći ulaz nanosa u akumulaciju. Drugi važan indikator hidrološkog režima jezera je kriva trajanja srednjih godišnjih dotoka u akumulaciju „Modrac“ prikazana na slici 2. Ova kriva ukazuje na bujični hidrološki režim vodotoka u slivu akumulacije. U vezi s tim, treba napomenuti da svi vodotoci u regionu, sa površinom sliva do 1.000 km² imaju takav režim [7]. Imajući u vidu sličnost fizičko - geografskih uvjeta u regionu, ova analogija je sasvim logična [7].



Slika 2. Kriva trajanja dotoka u akumulaciju Modrac

Prema hidrološkim mjerenjima (podatak iz Prostornog plana Tuzlanskog kantona Studija vodoprivrede, Institut za hidrotehniku Sarajevo, septembar 2007. godine), srednji godišnji prosječni protoci vode glavnih pritoka Modraca su: za rijeku Spreču: $Q_{sr} = 13,22 \text{ m}^3/\text{s}$, a za rijeku Turiju: $Q_{sr} = 3,08 \text{ m}^3/\text{s}$. Na osnovu datih podataka zaključeno je da preko ovih pritoka u akumulaciju Modrac dotiče oko 300 - 400 milijuna $\text{m}^3/\text{god.}$, što omogućava da se u akumulaciji Modrac izvrši izmjena vode 5 do 6 puta u toku godine [3].

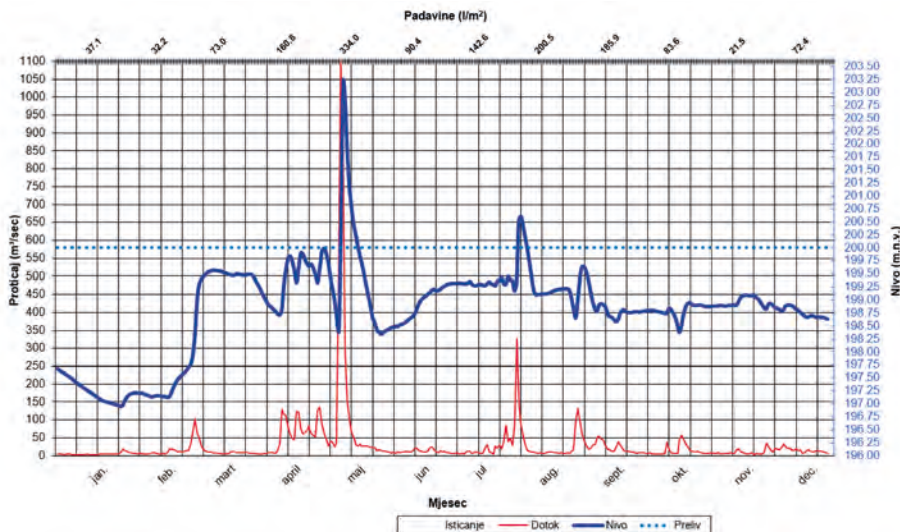
Monitoringom akumulacije mjere se količine isporučene, ispuštene (ispust i preliv) i isparavanje te se na bazi tih podataka i promjene razine vode (pretpostavka da je razina uvijek horizontalna) definiše dotok u akumulaciju. Podaci su od JP „Spreča“ dobijeni na dnevnoj razini za period od 1980. do 2022. godine.



Slika 3. Histogram minimalnih, maksimalnih i srednjih doticaja u akumulaciju Modrac

Na sljedećoj slici broj 4. je prikazana kriva padalina i dotoka vode u akumulaciju Modrac mjerenih u 2014. godini. Navedena godina je karakteristična sa veoma velikim rasponom minimalnih i maksimalnih doticaja, što se vidi i na sljedećoj¹ slici.

1 2014. godina je bila sa izrazitim hidrološkim minimumom, a pogotovo maksimumom u kojoj je zabilježena i najviša kota akumulacije Modrac (203,42 m n.n.m.)



Slika 4. Dijagram padalina i doticaja u akumulaciju Modrac u 2014. godini

3. PROBLEMATIKA ZASIPANJA AKUMULACIJE NANOSOM

Zasipanje akumulacija nanosom spada u najpoznatije probleme riječne hidraulike. Brane i akumulacije, nastale pregrađivanjem riječnih tokova, prouzrokuju zadržavanje riječnog nanosa koji dolazi iz gravitirajućih slivova. To je prirodni proces, uslovljen erozionom produkcijom nanosa u slivu akumulacije.

Većina velikih akumulacija u Bosni i Hercegovini ima prevashodno energetska namjenu. U toku eksploatacije zapaženi su problemi koji nastaju usljed zasipanja akumulacija riječnim nanosom, koji može ugroziti ili već otežava normalno funkcionisanje objekata.



Slika 5. Aktivne karakteristike volumena na rijeci i u akumulaciji [2]

Bez upravljanja sedimentom, projekti brana pokreću rizik od iscrpljivanja primarnih skladišta vode, čak i rizik od većih opterećenja sedimentima posebno usljed klimatskih promjena, što će ubrzati proces nestajanja akumulacije, odnosno životnog vijeka postojanja akumulacije, najviše 30 - 100 godina. Ipak, sa upravljanjem sedimentom, zapreminski prostor je ključan faktor za isplativo snabdijevanje vodom i proizvodnju hidroenergije, te se može smatrati kao održivi resursom tokom dugog perioda, često preko 100 godina (u nekim slučajevima, zauvijek).

Sedimentacija akumulacije nastaje kada sediment nosi rijeka koja se ulijeva u akumulaciju, a taloži se u akumulaciji uzvodno od brane. Nošen sediment kod rijeka koje se ulijeva u akumulaciji se taloži jer voda usporava nakon ulaska u njega i više nema mogućnost transporta taloga. Takvi nanosi zauzimaju zapreminski prostor koji je prvobitno bio namijenjen za skladištenje vode, čime se ometa planirana funkcija brane i akumulacije.

Izvođenjem brane sa akumulacijom remeti se veoma delikatna dinamička ravnoteža koja postoji u prirodnom riječnom toku. Brzine vode i transportni kapacitet za nanos se sve više smanjuju duž akumulacije, tako da se vučeni i veći dio suspendovanog nanosa (čak i fine frakcije lebdećeg nanosa) zadržava u njenom prostoru (Slika 6). [6]



Slika 6. Najčešći raspored nanosnih naslaga u akumulaciji [5]

Poznavanje načina na koji se sediment taloži u akumulaciji je od suštinskog značaja za određivanje utjecaja sedimentacije na izvođenje projekata brana i akumulacija. Slika 5 daje opći utisak tipičnih uzvodnih utjecaja, što ukazuje da je ukupni zapreminski prostor akumulacije zbir aktivnog i mrtvog skladišnog prostora. Mrtvi volumen predstavlja prostor volumen ispod kote najnižeg ispusta, dok aktivni volumen predstavlja prostor koji služi za proizvodnju hidroenergije ili za vodosnabdijevanje, ili mogu, u slučaju da brana služi za kontrolu poplava, biti rezervisani za upravljanje poplavama.

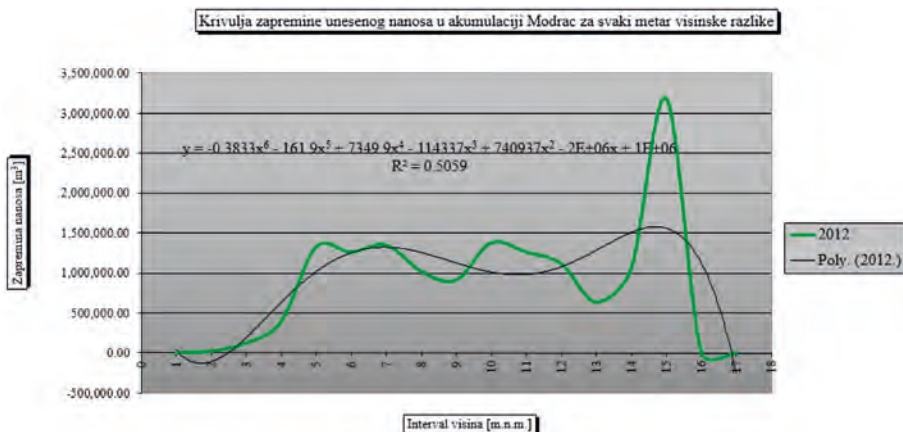
Taloženje sedimenta često počinje na uzvodnoj strani akumulacije i postepeno se kreće nizvodno u obliku delte. Neki od sedimenta se taloži uzvodno od visokog vodostaja i, kako je dalje navedeno, utiče na uzvodne poplave. Kao što je prikazano na Slici 7, kako se delta postepeno kreće u akumulaciji, vrlo rano utiče na aktivni volumen, odnosno aktivni skladišni prostor.



Slika 3. Gubitak volumena u zonama aktivne i mrtvog volumena usljed sedimentacije akumulacije

U 2012. godini rađena su mjerenja volumena nanosa u akumulaciji Modrac, te su prikazane količine po visini vode u akumulaciji. Vrijednosti količine nanosa su prikazane na sljedećoj slici broj 8 [3].

U 2022. godini, također su rađena mjerenja volumena nanosa u akumulaciji Modrac, te su promjene volumena prikazane na slici 9, [8].



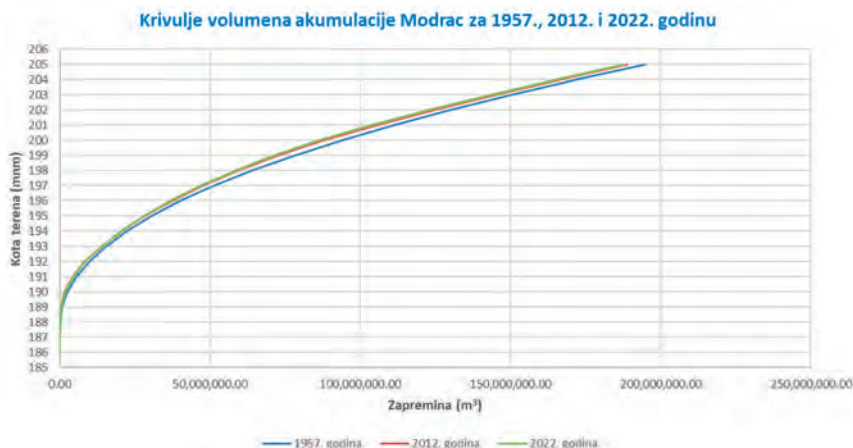
Slika 8. Dijagram nanosa u akumulaciji Modrac u periodu 1964. - 2012. godine

Jednačina funkcije volumena akumulacije Modrac za hidrografsku izmjeru 2012. godine izračunata je i prikazana u programskom paketu Microsoft Office Excel i iznosi:

$$Y = 0,69758x^2 - 263,08845x + 24804.38352 (x10^6 \text{ m}^3) \quad [3].$$

Odnos mjerenih podataka 1964. godine te podataka izmjere 1985., 2012. i 2022. godine vidljiv je u sljedećem prikazu i iznosi, [8]:

	1964.	1985.	2002.	2012.	2022.
Površina	17,10 km ²	16,75 km ²		16,69 km ²	16,552 km²
Ukupni volumen	98 x 10 ⁶ m ³	88 x 10 ⁶ m ³	85 x 10 ⁶ m ³	102.759.630 m ³	102.928.907 m³
Korisni volumena (195 - 200 mn.m.)	86 x 10 ⁶ m ³	76 x 10 ⁶ m ³	64 x 10 ⁶ m ³	59.450.000 m ³	58 245 032,44 m³
Volumen nanosa (185 - 202 mn.m.)	-----	-----	13 x 10 ⁶ m ³	15.025.121 m ³	16.802.280 m³
Volumen nanosa (185 - 200 mn.m.)				15.019.902 m ³	16.586.664 m³
Maksimalna dubina	18,0 (10,0) m	18,0 (10,0) m		14,94 m (kota dna)	14,91 m
Prosječna dubina	5,7 m	5,2 m		5,32 m	5,203 m
Maksimalna dužina	10.700 m	10.400 m		10.475,72 m	10.490,83 m
Maksimalna širina	1.600 m	1.780 m		2.411,17 m	2.450,88 m
Dužina obale	33.250 m	31.700 m		42.537,63 m	41.346,25 m



Slika 9. Dijagram nanosa u akumulaciji Modrac u periodu 1957. - 2022. godine [8]

Jednačina funkcije volumena akumulacije Modrac za hidrografsku izmjeru 2022. godine izračunata je i prikazana u programskom paketu Microsoft Office Excel i iznosi:

$$Y = 11.431x^3 + 335.093x^2 - 2E + 06 \quad R = 0,9999 \quad [8].$$

ZAKLJUČAK

Problematika zasipanja jezera nanosom, zahtijeva analizu utjecaja hidrološkog režima akumulacije na ovu pojavu, odnosno razmatraju se i uslovi upravljanja režimom jezera sa kojima se postiže minimalno zasipanje nanosom. Međutim, realizacija uslova minimalnog zasipanja nanosom je moguća samo u slučaju kada ne postoje drugi ograničavajući faktori za režim jezera.

Operator koji upravlja hidroakumulacijom Modrac uslijed smanjenja korisnog volumena je prinuđen da sve više obraća pažnju na očuvanje što veće razine u akumulaciji posebno u sušnom periodu godine (svibanj - listopad).

Vrijedno je navesti nekoliko važnih parametara, a koji se odnose na sliv hidroakumulacije Modrac i to da su:

- prosječni višegodišnji dotok u akumulaciju iznosi oko 15,6 m³/s,
- prisutna je izrazita neravnomjernost doticaja, što ukazuje na bujični karakter vodotoka uzvodno od akumulacije,
- mjeseci srpanj, kolovoz, rujan i listopad najčešće imaju minimalne srednje mjesečne proticaje između 4,0 - 6,7 m³/s,
- prosječno najviše padalina bude u mjesecu ožujku, međutim u lipnju se bilježe maksimalni srednji mjesečni proticaji u sinteznoj godini (period 1980. - 2014. godine).

Na osnovu svega navedenog da se zaključiti da je ukupni volumen akumulacije Modrac smanjen za 16,92 %, odnosno da je korisni volumen akumulacije smanjen za 33 % i to za period od 1964. - 2022. godine, odnosno korisni volumen je od 86 milijuna kubika koliko je iznosio 1964. godine smanjen na 58,25 milijuna kubika.

LITERATURA

- [1] Kovčić, O. (2017). "Management of multi - purpose reservoirs with a case study of Lake Modrac", University of Tuzla, Faculty of Mining - Geology - Civil Engineering, PhD Thesis.
- [2] Kupusović, T., Suljić, N., Zigic, I., Kovčić O. (2014). Trend and possible causes of flood waves at the dam profile of multipurpose reservoir "Modrac", Bosnia and Herzegovina, Milankovitch Anniversary Symposium UNESCO Water Management in Transition Countries as Impacted by Climate and Other Global Changes, Lessons from Paleoclimate, and Regional Issues, pp. 120-124.
- [3] Influence of mining works on lake Modrac - Tuzla Canton (2014). Institute for Water Management "Jaroslav Cerni" Belgrade.
- [4] "Geodesic - hydrographic survey of the bottom of the lake is the reservoir shoreline to the processing of the measured data," MIG Ltd. Slavonski Brod, 2012.
- [5] Kupusović, T.; Vučijak, B.; Kovčić, O. (2015). Reservoir Modrac and its functioning during floods in May 2014., Hrvatske vode 23 91, pages 19-28, UDK 556.166(497.6)
- [6] Kovčić, O. (2011). Analysis of flow waves on the profile of reservoir "Modrac" in terms of throughput capacity of dam, University of Tuzla, Faculty of Mining - Geology - Civil Engineering, Master Thesis

-
- [7] Suljic, N., Kovcic O. (2018). Analysis of time oscillations of water on lake Modrac as a multi-purpose reservoir, Archives for Technical Sciences, Bijeljina, Year X, No. 18, pp. 31-40, ESCI Indexed.
- [8] “Geodesic - hydrographic survey of the bottom of the lake is the reservoir shoreline to the processing of the measured data” BN PRO Ltd. Sarajevo, 2022.

AUTORI

doc. dr. sc. Omer Kovčić, dipl. ing. građ. ^a

Mufid Tokić, dipl. .ing. građ. MA ^a

dr. sc. Anadel Galamić, dipl .ing. građ. ^b

^a Javno preduzeće za vodoprivrednu djelatnost “Spreča” d.d. Tuzla,
e-mail: omer.kovcic@gmail.com, mufid.tokic@gmail.com

² GPP d.o.o. Banovići, e-mail: anadel.galamić@gmail.com



R 2.16.

ANALIZA DINAMIKE PROJEKTIRANJA I GRAĐENJA NOVIH SUSTAVA NAVODNJAVANJA IZ SREDSTAVA EUROPSKOG POLJOPRIVREDNOG FONDA ZA RURALNI RAZVOJ

Danko Holjević, Marinko Galioš, Mario Bagarić

SAŽETAK: U proteklih 10 godina započeo je proces projektiranja i izgradnje novih sustava javnog navodnjavanja sredstvima Europskog poljoprivrednog fonda za ruralni razvoj. Programom je obuhvaćeno 17 sustava javnog navodnjavanja na području cijele Hrvatske. Opisan je proces odobravanja i prihvaćanja projekata od strane nadležnih državnih tijela, kao i sam postupak izbora izvoditelja radova te nadzora nad istim. U radu se provodi analiza upravljanja projektima tijekom pripreme, projektiranja i gradnje sustava sa aspekta ostvarenja planiranih ciljeva. Analiziraju se ostvareni vremenski rokovi, kompariraju planirana i utrošena financijska sredstva, kao i rizici ostvarenja zacrtanih ciljeva tijekom procesa izrade projektne dokumentacije, ishoda potrebnih dozvola. Dan je prikaz ključnih parametara uspješnosti procesa građenja objekta kao i uočenih problema tijekom realizacije samih projekata. Zaključno se daje osvrt na uspješnost upravljanja projektima ostvarenim putem fonda za ruralni razvoj Europske unije.

KLJUČNE RIJEČI: Upravljanje projektima građenja, Sustavi javnog navodnjavanja, Analiza ostvarenih ciljeva i postignutih rezultata

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF DESIGN AND CONSTRUCTION OF NEW IRRIGATION SYSTEMS COFINANCED FROM THE EURO- PEAN AGRICULTURAL FUND FOR RURAL DEVELOPMENT

ABSTRACT: In the past 10 years, the process of designing and building new public irrigation systems cofinanced from the European Agricultural Fund for Rural Development started. The program covers 17 public irrigation systems throughout Croatia. The process of approval and acceptance of projects by competent state bodies is described, as well as the process of selecting contractors and their supervision. The paper analyzes project management during the preparation, design and construction of these systems, and considers it from the aspect of whether the planned objectives have been achieved. The analysis covers achieved deadlines, planned vs spent financial resources, as well as risks posed for the achievement of the goals set in the process of project design development

and obtaining of necessary permits. The key performance parameters for the facilities' construction process, as well as observed problems during the implementation of the projects are presented. Finally, the paper provides a review of management performance of projects cofinanced from the European Agricultural Fund for Rural Development.

KEYWORDS: Management of construction projects, Public irrigation systems, Analysis of achieved goals and obtained results

1. UVOD

Ulaskom Hrvatske u Europsku uniju stvoreni su uvjeti za financiranje projekata navodnjavanja iz fonda za ruralni razvoj. Na taj način ostvario se preduvjet za stabilno i kontinuirano financiranje projektiranja i izgradnje sustava navodnjavanja na cijelom području Hrvatske. U europskoj financijskoj omotnici u periodu od 2014. do 2020. projektiranjem, tehničkom pripremom (ishođenjem dozvola, postupci javne nabave) te izgradnjom obuhvaćeno je 17 sustava javnog navodnjavanja, a za potrebe alocirano je 98 milijuna eura. Realizacija projekta navodnjavanja ostvaruje se provođenje mjere M4 „Ulaganja u fizičku imovinu“, podmjere 4.3. „Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva“, tip operacije 4.3.1. „Investicije u osnovnu infrastrukturu navodnjavanja“. Pravni okvir za provedbu ove mjere čini Pravilnik o provedbi mjere M4—tip operacije 4.3.1. (Narodne novine, br. 62/16 i 101/17) kojim je definirano Upravljačko tijelo (Ministarstvo poljoprivrede), Tijelo zaduženo za operativnu provedbu Programa (APPRRR), određen nositelj tehničke potpore za pripremu i provedbu projekata (HV), korisnici potpore jedinice područne (regionalne) samouprave, iznos potpore (100 % prihvatljivih troškova: 85 % EPFRR + 15 % Republika Hrvatska) te maksimalni iznos potpore po projektu (15 milijuna eura).

S aspekta upravljanja projektima odnosno potrebom realizacije složenog programa projekata, kao što je u ovom slučaju riječ, vođenje projekta predstavlja vrlo kompleksnu zadaću. Realizacija zacrtanih ciljeva uz postojeća ograničenja, mnogobrojne faze i promjene tijekom realizacije, a uz rizike i visoke kriterije uspjeha te veliki broj potrebnih sudionika, najbolje opisuju izazov sa kojim su se susreli voditelj projekta i njegov tim. U nastavku rada dana je analiza ostvarenih rezultata sa aspekta organizacijskih, financijskih i terminskih parametara, uz poseban osvrt na uočene rizike te izazove koji su tijekom realizacije uočeni.

2. CILJEVI I REALIZACIJA PROJEKTA

Osnovni cilj realizacije projekta razvoja navodnjavanja u Hrvatskoj je osigurati uvjete za stabilnu, financijski isplativu te kvantitativno i kvalitativno isplativu poljoprivrednu proizvodnju. Planski i pravni okvir osiguran je kroz Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama (NAPNAV) a financijski u većem dijelu putem Europskog poljoprivrednog fonda za ruralni razvoj (EPFRR) i djelomične domaće komponente. U tom smislu kroz realizaciju projekta razvoja navodnjavanja ostvaruje se i jedan od osnovnih cilj ruralnog razvoja, a to je stvaranje preduvjeta za opstojnost i održivost stanovništva unutar ruralnih prostora kao i mogućnosti razvoja održive i financijski isplative poljoprivredne proizvodnje (Kos i drugi, 2022.). Razvoj

navodnjavanja ostvaruje se putem realizacije građevinskih projekta što predstavlja izazovan i kompleksan zadatak kroz višegodišnje razdoblje. Realizacija projekta započinje izradom projektne tehničke dokumentacije u skladu sa planskom dokumentacijom na verificiranim i usvojenim prioritetnim lokacijama. U početku radi se o varijantnim idejnim rješenjima koje prati studija izvodljivosti. Nakon usvajanja optimalnog tehničkog rješenja koje zadovoljava ekonomsko - financijske kriterije od strane stručnog povjerenstva, pristupa se izradi idejnog i glavnog projekta. U skladu sa fazama dovršenja projektne dokumentacije, kreće se ishođenjem lokacijske odnosno građevinska dozvole, uz odgovarajuće dokumente ili studije vezane za procjenu utjecaja budućih objekta na okoliš. Kroz sljedeću fazu projekta realiziraju se aktivnosti na pripremi tenderske dokumentacije kao temelja za izbor izvođača radova na izgradnji samog sustava. Prije provedbe nadmetanja županije u suradnji sa Hrvatskim vodama prijavljuje projekte na javne pozive za financiranje izgradnje sustava navodnjavanja koje raspisuje nadležno ministarstvo poljoprivrede. Tijekom cijelog procesa pripreme tehničke dokumentacije, odabira izrađivača radova, nadzornih inženjera te ishođenja potrebnih dozvola ostvaruje se tijesna suradnja implementacijske jedinice za provedbu NAPNAV-a (unutar Hrvatskih voda) te županija kao nositelja razvoja novih projekta navodnjavanja. Izborom izvođača radova i nadzornih inženjera te sklapanjem ugovora o građenju i nadzoru započinje proces same izgradnje. Upravljanje projektom izgradnje povjerava se komisijom Hrvatskim vodama, a koje ga kroz voditelja projektne tima provode putem licenciranih voditelja projekta (djelatnika Hrvatskih voda). Sam proces gradnje u financijskom i tehničkom smislu u ime EPFRR-a nadziru nadležna nacionalna tijela razine jedan i dva. Provode se stroge kontrole prije i poslije provedbe postupka izbora izvođača radova i nositelja nadzora, kao i terenske kontrole tijekom samog odvijanja radova. Nakon uspješnog tehničkog pregleda i ishođenja odgovarajuće uporabne dozvole, građevine se predaju županijama odnosno isporučiteljima vodnih usluga na tom području na upravljanje i održavanje. U periodu od 2014. - 2023. godine na taj način realizirano je 17 projekta na području 6 županija te su osigurani uvjeti za navodnjavanje na 6.989 hektara poljoprivrednog tla (Đuroković i drugi, 2022.). U okviru tablice i slike 1. vidljive su lokacije izgradnje sustava navodnjavanja i površine na kojima je moguće navodnjavanje.

Tablica i slika 1. Pregled lokacija i površina sustava navodnjavanja izgrađenih putem sredstava EPFRR-a

RBr	Sustav navodnjavanja	Površ. (ha)
1	Novi Gradac - Detkovec	750
2	Đolta 1. faza	161
3	Sopot	704
4	Blata - Cerna	500
5	Orubica	326
6	Červar-Porat-Bašarinka	490
7	Baštica 2. faza	128
8	Lišansko polje	232
9	Glog	312
10	Donja Baštica	108
11	Pl Osijek	212
12	Mala šuma - Veliki vrt	78
13	Lipovac	820
14	Ervenica	738
15	Kapinci Vaška 2. faza	568
16	Budimci Krndija	565
17	Donje polje - Jadrtovac	297



3. ANALIZA OSTVARENE DINAMIKE REALIZACIJE PROJEKATA

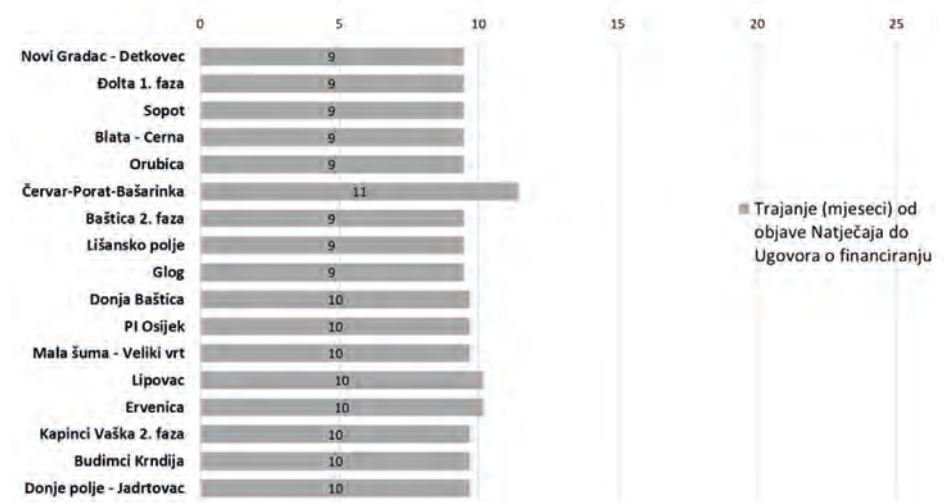
Upravljanje svakim složeni projektom uključuje planiranje, organiziranje, praćenje i kontrolu svih faza te dijelova projekta. Nužna je motivacija svih interesnih strana, sudionika realizacije projekta a sve radi postizanja zacrtanih ciljeva na siguran način unutar planiranih sredstava i zacrtanih vremenskih okvira Osim potrebnog adekvatnog znanja, iskustva i odgovarajuće licence za vođenje ovakvih složenih projekata potrebno je osigurati i odgovarajući alat čijom će se upotrebom osigurati učinkovito planiranje i upravljanje resursima (financijska sredstva, vrijeme, ljudski resursi), analiza i upravljanje rizicima po svim dijelovima projekta, uspostava sustav komunikacije i upravljanja dokumentacijom, informiranje dionika i promocija projekta (IPMA 2015). Za potrebe upravljanja projektom izgradnje novih sustava navodnjavanja unutar jedinice za provedbu NAPNAV-a uspostavljen je jedinstveni sustav praćenja realizacije svih projektnih parametara. Za potrebe izgradnje centralnog sustava praćenja projekta i standardizacije procesa korišten je sustav - Oracle Primavera (Butković i drugi, 2022.). Višegodišnje korištenje uspostavljenog sustava omogućilo je prikupljanje svih projektnih parametara te je stvorena velika banka ključnih projektnih podataka. U nastavku je dana analiza ključnih projektnih parametara za 17 projekata izgradnje novih sustava navodnjavanja u periodu 2014. - 2023. godina.

Tijekom pripreme projektne dokumentacije na većini projekata uočeni su sljedeći problemi:

- dugotrajno rješavanja imovinsko - pravnih odnosa,
- dodatni zahtjevi konzervatora,
- dugotrajni postupci procjene utjecaja na okoliš i EM,
- sporost administracije,
- kvaliteta tehničke dokumentacije

Od trenutka prijave novog projekta za financiranje putem EPFRR-a do trenutka samog prihvaćanja projekta za financiranje od strane nadležnih nacionalnih tijela prosječno je prolazilo od 9 - 10 mjeseci, a detaljni prikaz po projektima i rokovima realizacije dan je na grafikonu 1.

Grafikon 1. Pregled rokova prihvaćanja pojedinih projekta za financiranja

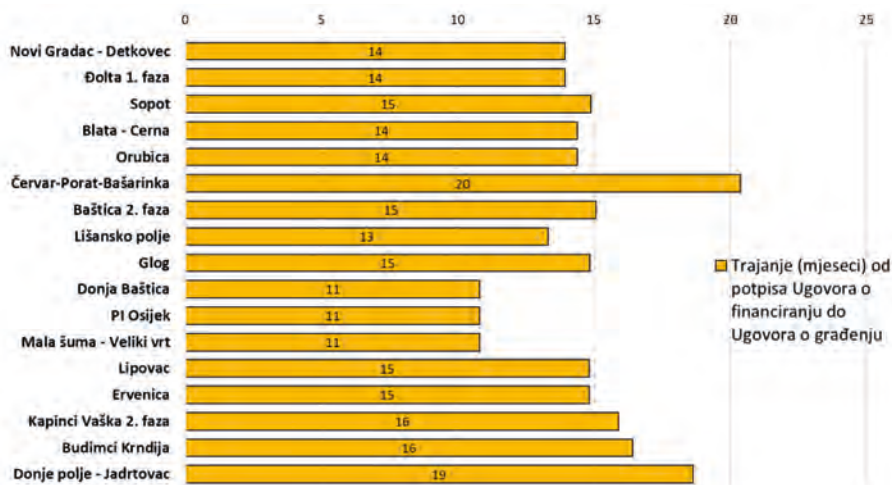


Tijekom provedbe postupaka javne nabave uočen je čitav niz problema od kojih su prepoznati sljedeći:

- dugotrajna priprema DoN,
- dugotrajna ex-post kontrola (APPRRR),
- žalba GS na DoN,
- dugotrajna ocjena ponuda uslijed preopterećenosti djelatnika,
- žalba GS na Odluku o odabiru.

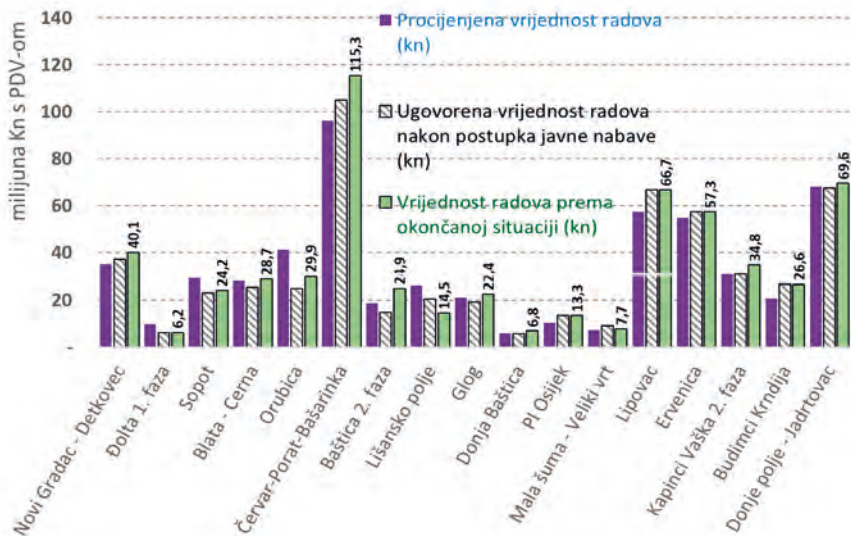
Od trenutka početka postupka javne nabave uključujući i administrativnu kontrolu prosječno je bilo potrebno više od godine dana za sklapanje ugovora o građenju, a detaljni prikaz po projektima i rokovima realizacije dan je kroz grafikon 2.

Grafikon 2. Pregled rokova od ugovora o financiranju do ugovora o građenju



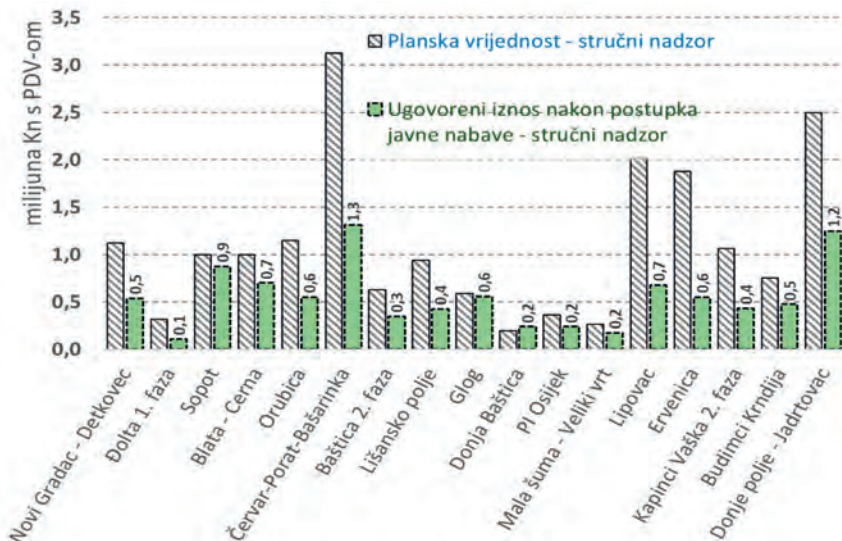
Usporedba procijenjenih, ugovorenih i realiziranih vrijednosti građevinskih radova prema realiziranim projektima dan je kroz grafikon 3.

Grafikon 3. Pregled vrijednosti procijenjenih, ugovorenih i realiziranih vrijednosti građevinskih radova po projektima



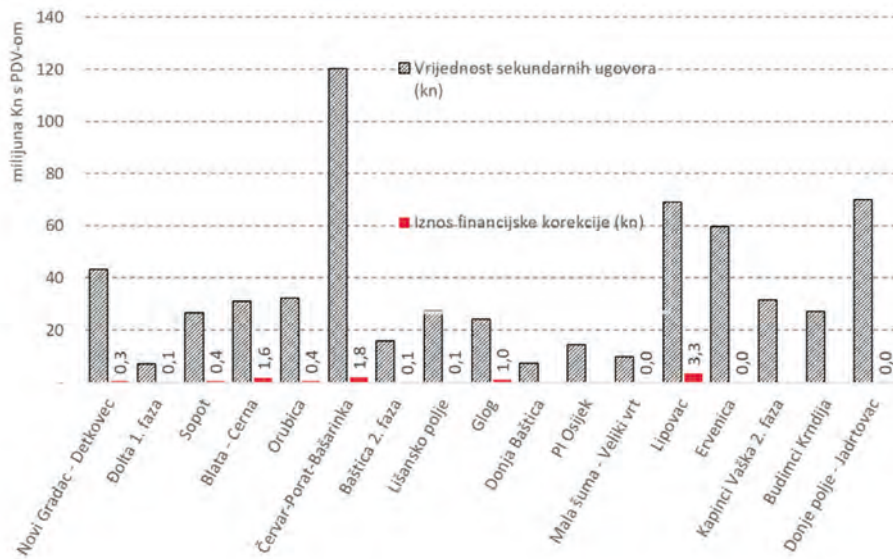
Usporedba procijenjenih, ugovorenih i realiziranih vrijednosti radova nadzora prema realiziranim projektima dan je kroz grafikon 4.

Grafikon 4. Pregled vrijednosti procijenjenih, ugovorenih i realiziranih vrijednosti radova nadzora po projektima



Tijekom provođenih postupaka unutar procesa realizacije projekta nadležna tijela uočila su manje nepravilnosti te su suglasno svojim nadležnostima izrekla propisane financijske korekcije. Pregled istih po objektima dan je u okviru grafikona 5.

Grafikon 5. Pregled vrijednosti procijenjenih, ugovorenih i realiziranih vrijednosti radova nadzora po projektima



ZAKLJUČAK

Rezultati analiza ključnih parametara uspješnosti vođenja i realizacije projekata izgradnje 17 novih sustava navodnjavanja u periodu 2014. - 2023. godine, financiranih sredstvima EPFRR-a, ukazuju na uspješnost planiranja i vođenja na projektnoj i programskoj razini. Uvođenjem digitalizacije projektnih procesa, te ustrojavanjem sustava Oracle Primavera platformi omogućeno je preciznije centralno prikupljanje i praćenje svih projektno bitnih podataka i informacija. Analiza rizika realizacije projekta ukazuje na senzibilnost pojedinih projektnih parametara u odnosu na cjelovitost projektnih izazova. Usprkos velikim vanjskim izazovima (COVID - 19 pandemija, inflacija, nestabilnost svjetskog tržišta, ...), projekti su dovršeni unutar ugovorenih rokova, te sa prihvatljivim i opravdanim pobojima financijskih okvira. Vremenska analiza provedenih procedure ugovaranja, kontrole građenja i stručnog nadzora ukazuje na mogućnosti unapređenja, prvenstveno u smislu skraćivanja administrativnih rokova i daljnje standardizacije izrade pojedinih dijelova tehničke dokumentacije (troškovnici i slično). Iz navedenih analiza uočava se i problem smanjenja cijena na području stručnog nadzora što se prepoznaje kao važan rizik za kvalitetu procesa građenja. Vrijednost financijskih korekcija izrečenih od strane kontrolnih tijela nije posljedica većih projektnih propusta, već prvenstveno manjih tehničkih propusta uočenih tijekom postupka nabave, a često vrlo konzervativno tumačenih od njihove strane. Zaključujući provedenu analizu dinamike projektiranja i građenja novih sustava navodnjavanja iz sredstava europskog fonda za ruralni razvoj može se potvrditi ispravan smjer planiranja i realizacije projekta kako na organizacijskom tako i na planском nivou. Uvođenje i implementacija Building Information Modeling - BIM pristupa realizaciji ovih projekata značajno je poboljšala vođenje projekta u pripremi i tijekom izgradnje, smanjila projektne rizike te unaprijedila uspješnost realizacije projekata.

LITERATURA

- [1] Butković, D., Galiot, M., Holjević, D., (2022): *Standardizacija procesa kao preduvjet upravljanja projektom NAPNAV*, Okrugli stol: Aktualni izazovi razvoja hidrotehničkih melioracija u Hrvatskoj, Poreč, 69-79
- [2] Đuroković, Z., Galiot, M., Brajković, A., (2022): *Provedba Nacionalnog projekta navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama (NAPNAV)*, Okrugli stol: Aktualni izazovi razvoja hidrotehničkih melioracija u Hrvatskoj, Poreč, 19-30
- [3] Kos, E, Macan, M., Čulinović - Holjevac, M., (2022): *Razvoj i upravljanje sustavima javnog navodnjavanja*, Okrugli stol: Aktualni izazovi razvoja hidrotehničkih melioracija u Hrvatskoj, Poreč, 9-19
- [4] IPMA (2015): *Individual Competence Baseline; Version 4.0*; International Management Association (IPMA): Nijkerk, The Netherlands

AUTORI

doc. dr. sc. Danko Holjević ^a

Marinko Galiot ^b

Mario Bagarić ^b

^a Hrvatske vode, Đure Šporera 3, Rijeka, 51000, Hrvatska
danko.holjevic@voda.hr, marinko.galiot@voda.hr, mario.bagaric@voda.hr

^b Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska, marinko.galiot@voda.hr, mario.bagaric@voda.hr



R 2.17.

KORIŠTENJE VODE I TLA U ODRŽIVOJ POLJOPRIVREDI - REZULTATI VIŠEGODIŠNJIH POKUSA

**Marko Josipović, Ivica Beraković, Hrvoje Plavšić,
Jasna Šoštarčić, Antonija Kojić, Monika Marković**

SAŽETAK: Voda i tlo su najvažniji resursi u proizvodnji hrane. U radu je prikazan dio rezultata pokusa sa sojom i kukuruzom tijekom šesnaest godina (od 2000. do 2015.). Pokusi su izvođeni prema split-split plot metodi i slučajnom rasporedu blokova. Varijante pokusa su bile navodnjavanje, gnojidba dušikom i sorte soje, odnosno hibridi kukuruza. Glavni čimbenik pokusa navodnjavanje: kontrola, racionalno navodnjavanje (sadržaj vode u tlu od 60 % do 100 % poljskog vodnog kapaciteta - PVK) i optimalno navo-dnjavanje (80 % do 100 % PVK). Pod čimbenik - gnojidba dušikom (N): kontrola - bez gnojidbe N, racionalna gnojidba N 50 kg N ha⁻¹ za soju i 100 kg N ha⁻¹ za kukuruz i bogata gnojidba N (B3) 100 kg N/ha⁻¹ za soju i 200 kg N ha⁻¹ za kukuruz. Pod čimbenik su bile četiri sorte soje odnosno četiri hibrida kukuruza. Na hibridima kukuruza i sortama soje su utvrđivani urodi, komponente uroda, sadržaj bjelančevina, ulja i škroba u kukuruzu, te bjelančevina i ulja u zrnju soje. U radu su prikazani značajniji rezultati uroda koji su uglavnom publicirani s naglaskom na racionalnost korištenja vode i tla u skladu s klimom, te značaj ovih resursa u proizvodnji hrane. Pokusima je utvrđen utjecaj navodnjavanja, dušika i genotipa na urod zrna kukuruza i soje.

KLJUČNE RIJEČI: Navodnjavanje, Dušik, Kukuruz, Soja, Kultivar, Urod zrna

USE OF WATER AND SOIL IN SUSTAINABLE AGRICULTURE - RESULTS OF MULTI-YEAR TRIALS

ABSTRACT: Water and soil are the most important resources in food production. The paper presents a segment of results from soybean and corn trials in the 16-year period (2000 - 2015). The trials were conducted according to the split-split plot method and randomized block distribution. The trial variants were irrigation, nitrogen fertilization, soybean varieties and hybrid corn. The main factor in the irrigation trial: control, rational irrigation (water content in soil from 60 % to 100 % of field capacity, FC) and optimal irrigation (FC 80 % to 100 %). The subfactor - Nitrogen fertilization (N fertilization): control - without N fertilization, rational N fertilization - 50 kg N ha⁻¹ for soybean and 100 kg N ha⁻¹ for corn, and abundant N fertilization (B3) - 100 kg N/ha⁻¹ for soybean and 200 kg N ha⁻¹ for corn. The subfactor was 4 soybean varieties and 4 corn hybrids. The fol-

lowing was determined on corn hybrids and soybean varieties: yields, yield components, contents of protein, oil and starch in corn, and contents of protein and oil in soybean grain. The paper presents more significant yield results, which are mostly publicized, with an emphasis of rational use of water and soil in accordance with climate, and the significance of these resources in food production. The trials determined the impact of irrigation, nitrogen and genotype on the yield of corn and soy grains.

KEYWORDS: Irrigation, Nitrogen, Corn, Soybean, Cultivar, Grain yield

1. UVOD

Soja *Glycine max (L.) Merr.* predstavlja jednu od najvažnijih bjelančevinastih i uljnih kultura u svijetu. Važan je izvor bjelančevina za hranu ljudi i životinja, a značajnu primjenu nalazi u farmaceutskoj industriji. Površine uzgoja u Europi su iznosile od 2.736.400 2010. godine do 5.294.214 ha 2020. godine. Površine zasijane sojom iznosile su od 35.789 ha (2008. godine) do 88.867 ha (2015 godina), a u istom razdoblju urodili su se kretali od 1,4 t ha⁻¹ (2000. godine) do 3,2 t ha⁻¹ (2018. godine). Kukuruz (*Zea mays L.*) je u Republici Hrvatskoj najzastupljenija žitarica u poljoprivrednoj proizvodnji. Prema službenim statističkim podacima (Državni zavod za statistiku, 2020.), u razdoblju 2000. - 2019. godina površine zasijane kukuruzom iznosile su od 235.352 ha (2018. godine) do 318.973 ha 2005. godine, a u istom razdoblju urodili su se kretali od 4,1 t ha⁻¹ (2000. godine) do 9,1 t ha⁻¹ (2018. godine). Kukuruz je uz pšenicu i rižu najzastupljenija žitarica u svijetu sa sve značajnijim udjelom u ljudskoj ishrani. Poljoprivredna proizvodnja u Europskoj uniji se uglavnom odvija u suhom ratarenju, jer se navodnjava u prosjeku manje od 8% površina. Jedna od mogućnosti povećanja proizvodnje i stabilnosti uroda je povećanje površina sortama kraće vegetacije, otpornim na sušu i na klima većeg potencijala uzgoja (Rossi, 2019). Značajna mogućnost povećanja uroda u Europi i Hrvatskoj je navodnjavanje (Josipović i dr., 2010a, Josipović i dr. 2010b, Josipović i dr. 2011, Marković i dr. 2011., Marković, 2013, Rosa et al. 2020). Možemo očekivati smanjene količine vode za navodnjavanje, posebno u srednje visinskim područjima svijeta i Europe (IPCC, 2014), kao i u većem dijelu Hrvatske (potencijali vode su dinamični i varijabilni). Moguće da ćemo u budućnosti na drugačijim principima koristiti vodu te ju uvijek trebamo racionalno i učinkovito koristiti. Opće je poznato u struci da sigurna i stabilna proizvodnja hrane značajno ovisi o navodnjavanju i genetici. Također su kreirani i kultivari kreirani na Poljoprivrednom institutu Osijek u pokusima kreirani za sušnije proizvodne uvjete. Reproductivni stadiji razvoja kukuruza i soje su vrlo značajni za urod, a oni se u pravilu događaju na području Europe, a posebno Hrvatske u vrijeme visokih temperatura zraka i nedostatka oborina. Nedostatak vode tijekom tih stadija (uglavnom u srpnju) ima vrlo značajan negativan učinak na prinose i kakvoću zrna soje i kukuruza (Vučić, 1976, Kovačević i dr. 1994, Kovačević i Josipović, 2005, Sudarić i Vratarić, 2008, Josipović i dr. 2012, Marković i dr. 2017, Bošnjak, 2011). Temeljni izvori znanstvenih spoznaja su pravilno postavljeni i izvedeni pokusi, a posebno višegodišnji. Navedene činjenice su bile temeljne odrednice postavljanja varijanti pokusa jer su kultivari soje i kukuruza neiscrpnji izvori varijabilnosti pogotovo u kombinaciji navodnjavanjem i godinom koja se uvijek odlikuje svojim specifičnostima.

U radu su prikazani rezultati koji su uglavnom publicirani u kojima je bila naglašena

racionalnost i održivost korištenja vode i tla u poljoprivredi, te značaj ovih resursa u proizvodnji hrane. U radu su prikazani rezultati koji su uglavnom publicirani u kojima je bila naglašena racionalnost i održivost korištenja vode i tla u poljoprivredi, te značaj ovih resursa u proizvodnji hrane.

Cilj rada je prikazati rezultate višegodišnjih istraživanja utjecaja navodnjavanja, gnojidbe dušikom i kultivara soje i kukuruza na urod zrna temeljene na principima održive poljoprivrede.

2. MATERIJAL I METODE RADA

Na Poljoprivrednim institutu Osijek su od 2000. do 2015. godine izvedeni poljski pokusi s kulturama sojom i kukuruzom. Pokusi su postavljeni u dvopolju soja - kukuruz, a svake godine su se izmjenjivali. Također se vodilo računa da varijante s istim tretmanom gnojidbe dušikom i istom varijantom navodnjavanja dođu na istu površinu tretmana pojedine kulture. Pokus se izvodio prema metodi podijeljenih parcela (split - split plot) u tri ponavljanja prema slučajnom rasporedu blokova. Varijante u pokusu su bile: navodnjavanje - glavni čimbenik (A), gnojidba dušikom pod - čimbenik i sorte soje (četiri sorte) odnosno hibridi kukuruza (četiri hibrida) pod-pod čimbenik (C). Navodnjavanje je imalo tri varijante, kontrola - suho ratarenje bez navodnjavanja (A1), racionalno navodnjavanje - održavanje sadržaja vode u tlu od 60 % do 100% poljskog vodnog kapaciteta (PVK), (A2) i optimalno navodnjavanje (bogato) - održavanje sadržaja vode u tlu od 80 % do 100 % PVK (A). Pod čimbenik - gnojidba dušikom (N): kontrola - bez gnojidbe N, racionalna gnojidba N 50 kg N ha⁻¹ za soju i 100 kg N ha⁻¹ za kukuruz i bogata gnojidba N (B3) 100 kg N/ ha⁻¹ za soju i 200 kg N ha⁻¹ za kukuruz. Pod-podčimbenik, bile su četiri sorte soje kreirane na Poljoprivrednom institutu Osijek (Lucija, Ika, Tena i Vita) i četiri hibrida kukuruza (OSSK 552, OSSK 596, OSSK 602 i OSSK 613). Mjereni su urodi hibrida kukuruza i sorti soje na postavljenim varijantama pokusa. Iz rada (Josipović i sur., 2010a), prikazana je u tablici 1. raspodjela i količina vode po varijantama istraživanja u pojedinim godinama tijekom četiri godine istraživanja (2006. - 2009.).

Za analizu klimatskih uvjeta korišteni su podaci s klimatološke postaje Klisa (aerodrom Osijek, Državni hidrometeorološki zavod, 2020.) za razdoblje od 2000. do 2015. godine, a pojedine godine su uspoređivane s višegodišnjim prosjekom 1961. - 1990. godine. Prikazani su značajni klimatski elementi za analizu klime u poljoprivredi, količina oborine (tablica 2) i prosječne temperature zraka.

3. KLIMATSKI UVJETI

Prosječna količina oborine tijekom razdoblja istraživanja (2000. - 2015. godina) u vegetaciji je iznosila 399,5 mm, što je oko 8% više od višegodišnjeg prosjeka (368,4 mm). U istraživanom razdoblju bilo je šest godina u kojima je količina oborine bila značajno veća ($\geq 25\%$) od višegodišnjeg prosjeka (368,4 mm), pet godina su bile na razini prosjeka (od 276,3 mm do 460,5 mm), a pet godina su bile značajno manje ($\leq 25\%$) od prosjeka ($\leq 276,3$ mm), dakle sušne godine.

Tablica 2. Količina oborine 2000. - 2015. godina i višegodišnji prosjek 1961. - 1990.,
Meteorološka postaja Osijek

Količina oborina (mm) po godinama i višegodišnji prosjek																		
Godina Mjesec	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	1961- 1990	2000- 2015
I	17,5	74,6	11,1	66,4	50,4	35,5	32,9	25,3	33	59,5	84	23,6	28	60,8	51,8	73,6	46,9	45,5
II	14,8	22,9	48,2	15,6	50	66,2	50,1	46,5	4,6	28,6	58,6	18,4	53,7	85,8	48	57,1	40,2	41,8
III	41	83	10,1	4,6	40,6	54	52,5	76	85,2	26,5	22,2	37,1	0,9	84,3	39,4	50,5	44,8	44,2
IV	27,5	72	63,8	11,9	136,6	55,3	86,8	2,9	49,9	18,7	71,1	20,4	47,3	44,7	81,3	12,9	53,8	50,2
V	26,3	60,1	135,4	18,4	65,1	46,1	78,6	56,1	66,7	39,4	120,8	81,2	93,5	118,9	159,4	113,4	58,5	80,0
VI	9,6	239,5	36,6	43,9	76,7	112	91	33,3	76,3	62,8	233,6	49,9	67,9	63,2	91	17,1	88	81,5
VII	62,8	77,1	59,3	59,8	43,5	170,8	14,6	27,4	79,3	13,8	31,5	73,8	47,8	36,5	66,4	25,6	64,8	55,6
VIII	5,3	7,1	84,3	41,8	106,5	237,6	133,5	45	46,2	60,6	110,8	4,6	4	32,9	54,3	105,8	58,5	67,5
IX	23	195,2	81,6	50,7	41,2	74,6	10,9	65,2	86,3	10	108,4	15,9	32,3	129	68,9	41,1	44,8	64,6
X	10,1	5,1	58,8	132	93,8	4,1	31,1	92,5	29,8	55,3	67,1	28,7	65,4	52,3	87,9	142,1	41,3	59,8
XI	42,4	74	40,2	44,8	114,6	15,9	33,2	102,7	47,9	67,8	56,3	0,4	50,2	63,8	8,8	45,1	57,3	50,5
XII	36,7	33,9	24,4	26,6	42,3	111,2	32,6	48	40,8	100,8	72,6	69,1	104,3	0	65,8	1,9	51,6	50,7
Ukupno	317	944,5	653,8	516,5	861,3	983,3	647,8	620,9	646	543,8	1037	423,1	595,3	772,2	823	686,2	650,5	692,0
IV-IX	154,5	651	461	226,5	469,6	696,4	415,4	229,9	404,7	205,3	676,2	245,8	292,8	425,2	521,3	315,9	368,4	399,5

Tablica 3. Prosječne mjesečne temperature zraka 2000. - 2015. godina i višegodišnji prosjek 1961. - 1990., Meteorološka postaja Osijek

Srednje temperature zraka (°C)																		
Godina Mjesec	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	1961- 1990	2000- 2015
I	-1,6	2,7	-0,2	-2,4	-1,4	0,0	-1,6	5,8	1,5	-1,1	-0,8	1,1	2,2	2,1	3,7	2,9	-1,2	0,8
II	4,2	4,2	6,0	-3,1	2,3	-3,2	1,1	6,1	4,9	2,3	1,4	0,7	-4,1	2,9	5,6	2,5	1,6	2,1
III	7,0	9,9	8,4	5,9	5,8	4,1	5,3	8,5	7,5	6,8	6,8	6,4	8,7	5,2	9,5	7,5	6,1	7,1
IV	14,9	10,9	11,2	11,3	11,7	11,5	12,7	13,3	12,5	14,6	12,4	13,2	12,5	13,1	13,2	12,1	11,3	12,6
V	18,4	18,4	18,6	20,1	14,6	17,0	16,2	18,2	18,1	18,3	16,5	16,7	16,9	16,7	16,1	17,8	16,5	17,4
VI	22,5	18,1	21,1	24,3	19,2	19,5	20,1	22,3	21,5	19,2	20,4	20,8	22,5	20,0	20,4	20,8	19,5	20,8
VII	21,7	21,6	22,3	22,1	21,5	21,5	23,5	23,8	21,8	23,2	23,2	22,2	24,8	22,9	21,8	24,6	21,1	22,7
VIII	23,7	22,7	20,9	23,6	21,0	19,3	19,3	22,2	21,8	22,9	21,7	23,1	24,1	22,9	20,8	23,7	20,3	22,1
IX	16,7	14,9	15,4	15,9	15,5	17,1	17,8	14,5	15,7	19,1	15,6	20,3	18,9	15,9	17,0	17,9	16,6	16,8
X	14,1	13,9	11,3	9,4	13,2	11,7	13,0	10,3	13,0	11,5	9,1	10,6	12,1	13,7	13,3	11,1	11,2	12,0
XI	10,0	3,5	8,8	7,5	6,2	5,0	7,8	4,0	7,5	8,2	8,9	2,3	9,0	7,8	8,3	7,5	5,4	7,0
XII	3,0	-3,8	0,9	1,4	1,9	1,7	3,0	0,1	3,8	3,1	0,3	3,4	0,4	1,6	3,5	3,2	0,9	1,7
Prosjeak	12,86	11,42	12,06	11,33	11,00	10,43	11,52	12,43	12,46	12,34	11,29	11,73	12,33	12,07	12,8	12,6	10,78	11,9
IV-IX	19,65	17,76	18,25	19,55	17,25	17,65	18,27	19,05	18,57	19,55	18,3	19,38	19,95	18,58	18,2	19,5	17,55	18,7

Prosječna količina oborine tijekom razdoblja istraživanja na godišnjoj razini je iznosila 692,0 mm, što je oko 6,5 % više od višegodišnjeg prosjeka (650,5 mm). U istraživanom razdoblju bilo je čak devet godina u kojima je količina oborina bila značajno veća (≥ 25 %) od višegodišnjeg prosjeka (650,5 mm), pet godina su bile na razini prosjeka, a samo dvije godine su bile značajno manje (≤ 25 %) od prosjeka ($\leq 487,9$ mm), dakle sušne godine. Raspodjela količine oborina po "karakteru" vegetacije (vlažna, prosječna, sušna) bila je na razini prosječnih godina. No, ukupna godišnja količina oborina u istraživanom razdoblju pokazuje značajno veći broj „vlažnih godina”, „prosječne” su na razini prosjeka, a „sušne godine” su značajno manje zastupljene. Dobiveni rezultati u pokusima od 2000. do 2015. godine nastali u podjednako zastupljenim vlažnim, prosječnim i sušnim godinama jer nam je najvažnija količina oborina tijekom vegetacije.

Prosječna temperatura zraka u istraživanju tijekom vegetacije iznosila je 18,7 °C, što je za 1,1 °C više od višegodišnjeg prosjeka (17,6 °C). U istraživanom razdoblju bilo je petnaest godina s temperaturom višom od višegodišnjeg prosjeka, a od petnaest godina čak su devet imale prosječnu godišnju temperaturu zraka najmanje 1°C višu od višegodišnjeg prosjeka. Prosječna temperatura zraka u razdoblju istraživanja na godišnjoj razini iznosila je 11,9 °C, što je oko 10,2% više od višegodišnjeg prosjeka (10,8 °C). U istraživanom razdoblju je bilo čak petnaest godina s temperaturom višom od višegodišnjeg prosjeka, a od navedenih šesnaest čak deset imale su prosječnu godišnju temperaturu zraka najmanje jedan stupanj celzijus višu od višegodišnjeg prosjeka. Navedeni podatci ukazuju na primjetno povećanje temperature zraka i u vegetacijskom razdoblju.

Tablica 1. Količina oborine te količina vode dodana navodnjavanjem na A1, A2 i A3 varijantama tijekom istraživanja (2006. - 2009.)

Godina	Broj obroka i količina vode, mm				Količina oborina u veget.	Ukupno vode, mm oborine + navodnjavanje, mm po varijantama pokusa		
	A2 varijanta		A3 varijanta					
	broj	dodano	broj	dodano		mm	A1	A2
	obroka	vode	obroka	vode	mm	A1	A2	A3
2006.	2	80	3	120	413,9	413,9	493,9	533,9
2007.	3	120	5	200	301,7	301,7	421,7	501,7
2008.	2	80	3	120	437,3	437,3	517,3	557,3
2009.	4	200	6	240	230,8	230,8	430,8	470,8

4. REZULTATI I RASPRAVA

U tablici 4. prikazane su vrijednosti uroda zrna soje tijekom istraživanja po tretmanima navodnjavanja, gnojidbe N i sorti soje. Učinak navodnjavanja je u sve četiri godine istraživanja na varijanti A2 bio statistički značajno veći prema kontroli, a dvije godine (2006. i 2008.) statistički značajno veći prema A3 varijanti i dvije godine obrnuto (2007. i 2009.). Gnojidba N je u tri godine istraživanja rezultirala statistički vrlo značajno većim urodom soje na B2 varijanti prema B1, dvije godine prema varijanti B3, a samo jednu godinu statistički značajno većim urodom na varijanti B3 prema B2 i tri godine B3 prema

B1. Kombinacije navodnjavanja i gnojidbe N, A2B2 rezultirale su dvije godine statistički vrlo značajno najvećim urodom, a kombinacije A3B1 i A3B2 u jednoj godini. Rezultati istraživanja su u skladu s istraživanjima dijela citiranih autora (Vučić i Bošnjak, 1980, Bošnjak, 2008, Josipović i sur, 2011) koji su potvrdili pozitivan učinak navodnjavanja na razini varijante A2 (održavanje sadržaja vode u tlu tijekom vegetacije od 60 % do 100 % PVK). Učinak gnojidbe N je potvrdio rezultate sličnih istraživanja o varijabilnom učinku N (Brevedan, 1978, Sorensen i Penas, 1978), ali je značajno više u korist istraživanja koja su varijantu B2 (100 kg N ha⁻¹) pokazala učinkovitom za visoke i stabilne urode zrna soje. U kasnijim istraživanjima (2010. - 2015. godina) tretmani s količinom dušika su smanjeni, na varijanti B2 sa 100 na 50 kg N, a na B3 sa 200 na 100 kg N ha⁻¹.

Tablica 4. Urodi zrna soje po godinama istraživanja i tretmanima (Josipović i sur., 2010.)

Urod zrna soje na bazi 14% suhe tvari, t ha ⁻¹									
B	2006. godina					2007. godina			
	A1	A2	A3	Pr. B		A1	A2	A3	Pr. B
B1	2.84	3.09	3.03	2.99	B1	3.18	3.70	3.55	3.48
B2	2.94	3.33	3.18	3.15	B2	3.64	3.88	4.02	3.85
B3	3.16	3.00	2.86	3.00	B3	3.65	3.54	3.99	3.73
Pr. A	2.98	3.14	3.03	3.05	Pr. A	3.49	3.71	3.85	3.68
LSD	A		B	AB	LSD	A		B	AB
0.05%	0.064		0.064	0.111	0.05%	0.066		0.066	0.114
0.01%	0.089		0.089	0.155	0.01%	0.092		0.092	0.160
	2008. godina					2009. godina			
	A1	A2	A3	Pr. B		A1	A2	A3	Pr. B
B1	3.68	4.04	3.55	3.76	B1	2.99	3.92	4.05	3.66
B2	3.46	4.13	3.79	3.79	B2	3.56	3.91	4.01	3.82
B3	3.91	3.88	3.86	3.88	B3	3.89	3.65	3.86	3.80
Pr. A	3.68	4.02	3.73	3.81	Pr. A	3.48	3.83	3.97	3.76
LSD	A		B	AB	LSD	A		B	AB
0.05%	0.072		0.072	0.124	0.05%	0.087		0.087	0.151
0.01%	0.100		0.100	0.174	0.01%	0.122		0.122	0.212

A1=kontrola; A2=sadržaj vode u tlu od 60 % do 100% PVK; A3 =sadržaj vode u tlu od 80 % do 100 % PVK; B1=kontrola; B2=100 kg N ha⁻¹; 0.05 % i 0.01 % statistička vjerojatnost 95 % i 99 %.

Izvor: Josipović i dr. 2010, 45. Hrvatski i 5. International Symposium of Agronomy, 2010, Opatija).

Utjecaj varijanti pokusa na urod zrna kukuruza prikazan je u tablici 5. Primijenjena razina navodnjavanja A rezultirala je statistički značajnim povećanjem uroda zrna kukuruza, kao i gnojidba B3. No, u godini s najviše oborina i u vegetaciji (627 mm) i u godini (1037 mm, 2010. godina) urod na A1 varijanti (9,34 t ha⁻¹) bio veći od uroda na A2 varijanti (9,14 t ha⁻¹), no nije bio statističke značajnosti (dakle i to se u šesnaest godina, ili rjeđe događa). To je svakako između ostalog razlog zbog nedostatka kisika zbog previše vode na A2 i A3 varijanti. U ostale dvije godine istraživanja (2011. i 2012. godine) varijante s navodnjavanjem imale su statistički značajno veće urode zrna kukuruza (u 2012. godini oko 37 % više od kontrole). Brojnim istraživanjima su utvrđeni slični rezultati gdje je navodnjavanje rezultiralo statistički značajno većim urodima (Saif. i dr. 2003., Josipović i dr. 2012. i 2014.).

Tablica 5. Utjecaj navodnjavanja, gnojidbe dušikom i hibrida kukuruza na urod zrna u trogodišnjim istraživanjima (2010. - 2012.) poljskih pokusa (*PVC = poljski vodni kapacitet); a,b LSD ≤ 0.05, a,b LSD ≤ 0.01)

Urod zrna (t ha ⁻¹)		2010	2011	2012	Prosjek
Navodnjavanje (a)	a1 = suho ratarenje	9.35a	7.92b	8.06B	8.44
	a2 = 80 to 100% FWC*	9.14a	8.53a	11.1A	9.58
Gnojidba N (kg ha ⁻¹) (a)	b1 = 0	6.13B	6.46B	9.31a	7.30
	b2 = 200	12.4A	9.99A	9.81a	10.7
Hibrid (c)	c1 = OSSK 602	10.6A	7.82B	9.73a	9.37
	c2 = OSSK 552	7.92B	8.63A	9.39a	8.65
Prosjek		9.24	8.23	9.56	

Izvor: Marković i dr. 2017.

ZAKLJUČCI

Višegodišnjim poljskim pokusima učinak navodnjavanja soje je u sve četiri godine istraživanja (2006.-2009.) na varijanti A2 bio statistički značajno veći prema kontroli. Gnojidba N je u tri godine istraživanja rezultirala statistički vrlo značajno većim urodom soje na B2 varijanti prema B1, dvije godine prema varijanti B3, a samo jednu godinu statistički značajno većim urodom na varijanti B3 prema B2 i tri godine B3 prema B1. Kombinacije navodnjavanja i gnojidbe N, A2B2 rezultirale su dvije godine statistički vrlo značajno najvećim urodom, a kombinacije A3B1 i A3B2 u jednoj godini. Preporučene varijante navodnjavanja i gnojidbe za soju su A2B2, dakle racionalno navodnjavanje i racionalna gnojidba N.

Primijenjena razina navodnjavanja kukuruza (A) rezultirala je statistički značajnim povećanjem uroda zrna kukuruza, kao i gnojidba B3. U ostale dvije godine istraživanja (2011. i 2012. godine) varijante s navodnjavanjem imale su statistički značajno veće urode zrna kukuruza (u 2012. godini oko 37 % više od kontrole).

Dakle, višegodišnjim poljskim pokusima kukuruza i soje uglavnom je utvrđen vrlo značajan ili značajan utjecaj navodnjavanja, te značajan ili vrlo značajan utjecaj dušika i genotipa na urod zrna kukuruza i soje.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se Hrvatskim vodama (financiranje u razdoblju 2000. - 2006. godine) te Ministarstvu znanosti i obrazovanja (2008. - 2010. godine) i Poljoprivrednom Institutu Osijek (2000. - 2015. godine) za značajan financijski doprinos pri realizaciji ovih višegodišnjih istraživanja.

LITERATURA

- [1] Bošnjak, Đ, (2008): *Navodnjavanje soje u redovnoj, drugoj i postrnoj sjetvi*, Objavljeno u Soja, Miladinović, J, Hrustić M, Vidić, M, ur. Miladinović, J, Hrustić, M, Vidić, M, 512. str. Srbija, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad Sojaprotein Bečej.
- [2] Bošnjak, Đ, (2011): *Soybean irrigation in single crop, second crop and stubble crop plantin*, In *Soybean*, Miladinović, J, Hrustić, M, Vidić, M, Eds, Institute of Field and Vegetable Crops Novi Sad, Sojaprotein Bečej, Srbija, 2011, 315–342.
- [3] Brevedan, R, E, Egli, D, B, and Leggett, J, E, (1999): *Influence of N Nutrition on Flower and Pod Abortion and Yield of Soybeans*, *Agronomy Journal*, Vol 70(1), 81-84.
- [4] Državni zavod za statistiku (2020): *Tablica PPP 2020*, (pristup 4.09.2023.).
- [5] Food and Agricultural Organization of United Nations (FAO) (2022): *Crops and Livestock Products*, 2022. Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (pristup 18. 07. 2022).
- [6] IPCC. Climate Change (2014): *Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Pachauri, R.K., Meyer, L.A., Eds.; IPCC: Geneva, Switzerland, 2014, 151. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> (pristup 4 srpnja 2022).
- [7] Josipović, M, Plavšić, H, Sudarić, A, Vratarić, M, Liović, I, (2010a): *Utjecaj navodnjavanja i gnojidbe dušikom na urod zrna soje Glycine max (L.) Merr. U: Sažetci* 45. hrvatski i 5. međunarodni simpozij agronoma, Opatija, 751-755.
- [8] Josipović, M, Plavšić, H, Brkić, I, Sudar, R, Marković, M, (2010b): *Irrigation, nitrogen fertilization and genotype impacts on yield and quality of maize grain*, *Növénytermelés*, 59, Suppl. 1, 186-191.
- [9] Josipović, M, Sudarić, A, Kovačević, V, Marković, M, Plavšić, H, Liović, I, (2011): *Irrigation and nitrogen fertilization influences on properties of soybean (Glycine max (L.) Merr.) varieties*, *Poljoprivreda* 17(1), 9-15.
- [10] Josipovic, M, Kovacevic, V, Sostaric, J, Plavsic, H, Markovic, M, (2012): *Irrigation and nitrogen fertilization needs for maize in Osijek - Baranya County*, *Növénytermelés*, 61, 45-48.
- [11] Kovačević, V, Josipović, M, Grgić, D, (1994): *Pregled rezultata proizvodnje kukuruza u Slavoniji i Baranji (1960. - 1980.)*, *Poljoprivredne aktualnosti* 30(94) 1-2, 141-151.

- [12] Kovačević, V, i Josipović, M, (2005): *Maize yield variations among the years in the Eastern Croatia*, In: Proceedings of the XL Croatian Symposium on Agriculture with International Participation (Kovačević, V, and Jovanovac, S, Eds.), 15-18 February 2005, Opatija, 455-456.
- [13] Marković, M, Josipović, M, Plavšić, H, Brkić, I, Šoštarčić, J, (2011): *Yield and yield parameters of maize (Zea mays L.) genotypes in irrigated and fertilized conditions*, Novemyster, Supl. 3, 60, 345-348.
- [14] Marković, M, (2013): *Utjecaj navodnjavanja i gnojidbe dušikom na urod i kvalitetu zrna hibrida kukuruza (Zea mays L.)* - doktorski rad, Sveučilište J. J. Stross. u Osijeku, Poljoprivredni fakultet,
- [15] Marković, M, Šoštarčić, J, Josipović, M, Zebec, V, Špoljarević, M, Lisjak, M, Teklić, T, (2017): *The response of maize (Zea mays L.) grain yield to water and nitrogen supply in an eastern Croatian environment*, Irrig. and Drain, 66, 206-2017.
- [16] Rosa, L, Chiarelli, D,D, Rulli, M,C, Angelo, J, Odorico, P, (2020): *Global agricultural economic water scarcity*, *Sci. Adv.* 6, eaaz6031. [CrossRef] [PubMed].
- [17] Rossi, R, (2019): *Irrigation in EU Agriculture*. European Parliamentary Research Service. Available online: [https://www.europarl.europa.eu/registra/etudes/BRIE/2019/644216/EPRS_BRI\(2019\)644216_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/registra/etudes/BRIE/2019/644216/EPRS_BRI(2019)644216_EN.pdf) .
- [18] Sorensen, R, C, i Penas E, J, (1978): *Nitrogen Fertilization of Soybeans*, *Agronomy Journal*, Vol, 70 (2): 213-216.
- [19] Sudarić, A, i Vratarić, M, (2008): *Značenje, dostignuća i trendovi u oplemenjivanju soje u Poljoprivrednom institutu Osijek*, *Sjemenarstvo* 25(3-4), 207-216.
- [20] Vučić, N, (1976): *Natapanje poljoprivrednih kultura*, knjiga, Poljoprivredni fakultet Novi Sad
- [21] Vučić, N, i Bošnjak, Đ, (1980): *Potencijalna evapotranspiracija soje u klimatskim uslovima Vojvodine*, *Arhiv za poljoprivredne nauke*, Vol. 41 (144), 569-575.

AUTORI

dr. sc. Marko Josipović ^a

dr. sc. Ivica Beraković ^a

dr. sc. Hrvoje Plavšić^a

prof. dr. sc. Jasna Šoštarčić ^b

Antonija Kojić, dipl. ing. agr. ^b

dr. sc. Monika Marković ^b

^a Poljoprivredni institut Osijek, Južno predgrađe 17, Osijek 31 000, Hrvatska, marko.josipovic@poljinos.hr

^b Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Vladimira Preloga, 1, Osijek 31000, Hrvatska, jasna.sostaric@fazos.hr



R 2.18.

STANJE HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA ZA ODVODNJU I ANALIZA PRINOSA PŠENICE I KUKURUZA

Josip Marušić, Marko Josipović, Dragutin Petošić

SAŽETAK: Osnovna je zadaća hidromelioracijskih sustava (h.s.) stvarati i održavati vodni i zračni režim poljoprivrednog zemljišta prema potrebama optimalnog razvoja te ostvarenja visokih i stabilnih prinosa biljnih kultura. Najkvalitetnija rješenja h.s. površinske odvodnje ostvarena su na područjima s provedenom (ne)komasacijom i to u razdoblju od 1950.-ih do 1980.-ih godina. H.s. podzemne odvodnje izgrađeni su na zemljištima koja su bila u posjedu pravnih osoba - bivših poljoprivrednih kombinata od 1975. do 1990. godine. Nažalost, ratno djelovanje srpskih agresora 1991. godine i privremena okupiranost dijela Republike Hrvatske od 1991. do 1997. godine uzrokovali su pogoršanje stanja u području vodoprivrede i poljoprivrede. Istovremeno su smanjena sredstva za poslove redovnog održavanja h.s. za odvodnju, a prestala je i izgradnja novih. Dati su pokazatelji o smanjenju sjetvenih površina kao i o smanjenju prinosa pšenice i kukuruza u razdoblju od 1991. do 2000. i do 2021. godine. Za uspješniji razvoj poljoprivrede preduvjet je izgradnja i redovito održavanje hidromelioracijskih sustava u cilju ostvarenja programa proizvodnje hrane za domaće potrebe, ali i mogućnosti izvoza u cilju smanjenja platnog deficita Hrvatske.

KLJUČNE RIJEČI: Hidromelioracijski sustavi, Vodni režim, Odvodnja, Izgradnja, Održavanje, Prinosi, Pšenica, Kukuruz

STATE OF HYDRO - AMELIORATION DRAINAGE SYSTEMS AND ANALYSIS OF WHEAT AND CORN YIELDS

ABSTRACT: The main purpose of hydro - amelioration systems (HSs) is to create and maintain a water and air regime of agricultural land aligned with the needs of optimal development and achievement of high and stable crop yields. The best solutions for HSs with surface drainage were achieved in areas where land consolidation was carried out in the period from 1950s to 1980s. HSs with subsurface drainage were constructed on land owned by legal entities (former agricultural combines) in the period from 1975 to 1990. Unfortunately, military operations of Serbian aggressors in 1991 and a temporary occupation of parts of the Republic of Croatia from 1991 - 1997 caused a deterioration of the situation in the fields of water management and agriculture. At the same time, the

funds for regular management of HSs were reduced, while the construction of the new once stopped. The paper provides indicators for a reduction of sowing areas, as well as a reduction of wheat and corn yields in the period from 1991 to 2000, and until 2021. A prerequisite for a more successful agriculture development is the construction and regular maintenance of HSs in order to achieve the programme of food production for domestic needs, but also for potential food exports to reduce the payment deficit of the Republic of Croatia.

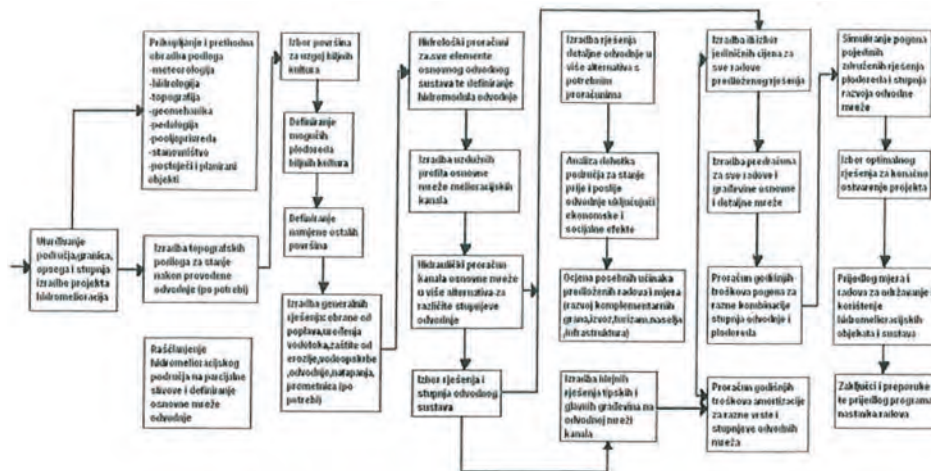
KEYWORDS: Hydro - amelioration systems, Water regime, Drainage, Construction, Maintenance, Yields, Wheat, Corn

1. UVOD - ZNAČENJE I POTREBA HIDROTEHNIČKIH MELIORACIJA

Hidrotehničkim melioracijama obuhvaćeno je građenje, rekonstrukcija, održavanje i sanacija vodnih građevina za odvodnju površinskih i podzemnih voda te navodnjavanje prvenstveno poljoprivrednih, ali i ostalih zemljišta. Glavni zadatak provedbe hidrotehničkih melioracija je stvaranje i održavanje vodnog režima u tlu prema potrebama optimalnog razvoja biljnih kultura u cilju ostvarenja njihovih visokih i stabilnih prinosa (t/ha). Za donošenje prijedloga i odluka o provedbi hidrotehničkih melioracija te izradi projektne i ostale dokumentacije potrebno je izvršiti terenska snimanja i ispitivanja (po potrebi i laboratorijska) sljedećih obilježja melioracijskih područja: geodetska, klimatska, hidrološka, pedološka, geomehanička i vegetacijska. Na osnovu analize terenskih podataka i određivanja vodne bilance melioracijskog područja te potreba optimalnog razvoja biljnih kultura daju se relevantni pokazatelji za donošenje odluke o provedbi hidrotehničkih melioracija. Glavni preduvjet za izgradnju hidromelioracijskih građevina i sustava je prethodna izgradnja, ali i redovito održavanje vodnih građevina za zaštitu od poplavnih voda i to kako rijeka tako i bujičnih vodotoka. U procesu iznalaženja optimalnih rješenja hidromelioracijskih sustava potrebna je stalna suradnja hidrotehničkih, agrotehničkih i geodetskih stručnjaka i znanstvenika. Također treba imati na umu da je izgradnja, održavanje i financiranje hidromelioracijskih građevina i sustava preduvjet uspješnijeg razvoja poljoprivrede. U državama s izgrađenim i redovno održavanim građevinama za zaštitu od poplava i hidromelioracijskim sustavima za odvodnju i navodnjavanje ostvaren je visoki stupanj razvoja poljoprivrede. Svjetska iskustva su potvrdila da su najrazvijenije države koje imaju dovoljnu proizvodnju hrane i energije, a preduvjet za proizvodnju hrane odnosno razvoj poljoprivrede je izgradnja i redovito održavanje hidromelioracijskih sustava. Kvalitetno izgrađenom i redovno održavanim regulacijskim i hidromelioracijskim građevinama i sustavima moguće je smanjiti posljedice štete od klimatskih promjena.

2. STUPANJ IZGRAĐENOSTI HIDROMELIORACIJSKIH GRAĐEVINA I SUSTAVA ZA ODVODNJU POVRŠINSKIH VODA

Složenost iznalaženja optimalnih rješenja hidromelioracijskih sustava za odvodnju prikazani su na slici 1., a situacijski prikaz s pripadajućim građevinama na slici 2.



Slika 1. Proces optimalizacije hidromelioracijskih sustava za odvodnju zemljišta (Marušić i Holjević, 2019.)

Osnovni podaci za ukupne melioracijske površine i stupnju izgrađenosti hidromelioracijskih građevina i sustava za odvodnju površinskih voda na području Hrvatske su sljedeći (Marušić i Holjević, 2019.):

- Ukupne melioracijske površine u Hrvatskoj	(100 %)	1.673.792 ha
- Potpuno izgrađeni sustavi površinske odvodnje	(43,3 %)	724.749 ha
- Dijelom izgrađene građevine i sustavi površinske odvodnje	(19,4 %)	324.662 ha
- Neizgrađeni sustavi površinske odvodnje	(37,3 %)	624.381 ha
- Duljina glavnih vodotoka melioracijskih područja I. i II. reda		6.594 km
- Duljina melioracijskih kanala III. i IV. reda (parcelni kanal)		26.357 km
- Betonski cijevni propust promjera 50 - 200 cm na MK III. i IV. reda		21.659 građevina
- Betonski pločasti propusti otvora (raspona) 200 - 1.000 cm		1.486 građevina
- Betonske i kamene stepenice visine 80 - 120 cm		1.085 građevina
- Poluautomatski cijevni čepovi promjera 50 - 200 cm		506 građevina
- Ostale vodne građevine na MK kanalima		1.466 građevina
- Crpne stanice - 61 građevina s pripadajućim strojevima i opremom ukupne snage 20.952 KW i kapaciteta 280,2 m ³ /s		

Crpne stanice odvođe suvišnu vodu sa 191.840 ha prirodno pogodnih nizinskih zemljišta za uzgoj biljnih kultura kako preduvjeta cjelokupnog razvoja poljoprivrede u Hrvatskoj.



Slika 2. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje s putnom mrežom i pripadajućim građevinama (Marušić i Holjević, 2019.)

Sadašnje stanje hidromelioracijskih građevina i sustava za odvodnju u Hrvatskoj ne zadovoljava potrebe i mogućnosti razvoja poljoprivrede. Treba naglasiti da učinkovito i djelotvorno održavanje i razvoj sustava u najvećoj mjeri ograničava neriješena vlasnička struktura zemljišta te nedovoljna financijska sredstva naknade za melioracijsku odvodnju. Posljedice nedovoljnog stupnja održavanja hidromelioracijskih građevina i sustava za odvodnju su smanjenje prinosa biljnih kultura. To je prikazano na slici 3. pa se ne daju posebni opisni pokazatelji i obrazloženja. Za ostvarenje kvalitetnih i učinkovitih hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje od posebnog značenja je provedba (re)komasacija zemljišta. Pod komasacijom zemljišta podrazumijeva se provedba agrotehničkih mjera u svrhu stvaranja pravilno oblikovanih parcela većih površina u odnosu na prethodno stanje (male parcele, nepravilan oblik). Glavna je svrha komasacije zemljišta smanjenje broja parcela iste ukupne površine koje su u vlasništvu, kako obiteljskih tako i pravnih vlasnika i korisnika zemljišta.

Provedba komasacija i izgradnja novih hidromelioracijskih sustava za odvodnju površinskih voda nije rađena od 1991. godine, a za prethodno razdoblje osnovni pokazatelji su prikazani u Tablici 1 (Marušić i Holjević, 2019.).

Tablica 1. Prikaz osnovnih pokazatelja provedbe komasacije i izgradnje hidromelioracijskih sustava za odvodnju površinskih voda do 1991. godine

Razdoblje - godina	Komasacija	Hidromelioracije	Hidrom/kom
1956. - 1975.	460.680 ha (67,8 %)	423.760 ha (67,1 %)	92,0 %
1976. - 1990.	218.829 ha (32,2 %)	207.888 ha (32,9 %)	95,0 %
Ukupno	679.437 ha (100 %)	631.648 ha (100 %)	93,0 %

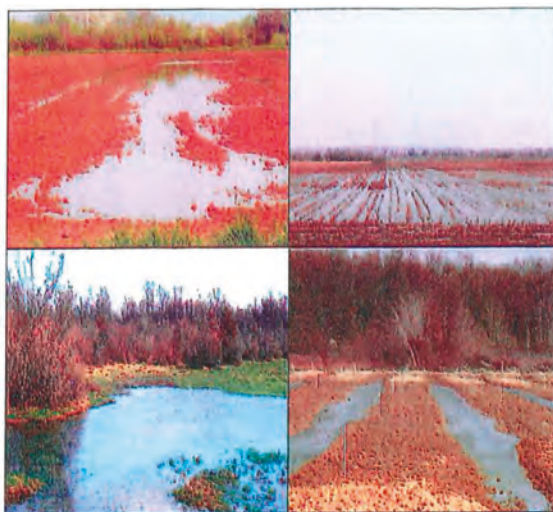
Također je važan podatak da je od ukupno provedenih komasacija zemljišta na području Slavonije i Baranje 490.484 ha odnosno 72,1 %, a hidromelioracije također na 490.484 ha što je 77,7 % od ukupnih površina s izgrađenim sustavima za odvodnju površinskih voda u Hrvatskoj. U 1990. godini u Hrvatskoj je bilo zasijanih 1.329.000 ha od čega 1.003.395 ha u posjedu obiteljskih gospodarstava (75,5 %) i 325.600 ha (24,5 %) pravnih osoba. Najviše izgrađenih hidromelioracijskih sustava za odvodnju površinskih voda je bilo 1985. godine - ukupno 20.424 ha; 1984. - 20.007 ha, 1983. - 19.144 ha, a u 1990. samo 10.019 ha. Osim potrebe izgradnje novih, važna je dogradnja i redovno održavanje postojećih hidromelioracijskih sustava za odvodnju površinskih voda. Nažalost zbog ratnog djelovanja agresora u 1991. i 1992. te privremene okupiranosti 296.500 ha hidromelioriranih zemljišta (od 1991. do 1995., a dijela i do 1998.) na tim površinama nisu obavljani poslovi održavanja melioracijskih kanala i glavnih vodotoka slivnih područja kao i pripadajućih građevina na njima. Istovremeno zbog pogoršanja financijskog stanja u poljoprivredi od 1991. do 2005. godine prihodi od slivne naknade ostvareni su od 8 do 42 % na melioracijskim područjima s potpuno i dijelom izgrađenim sustavima površinske odvodnje. Posljedica smanjenih sredstava se očitovala u neizvršavanju radova redovnog održavanja hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje. Na većem dijelu je došlo do nižeg stupnja funkcioniranja hidromelioracijskih sustava za odvodnju suvišnih voda. Posljedice neodržavanja melioracijskih kanala prikazane su na slici 3. Ovisno o projektno - izvedbenim parametrima hidromelioracijskih sustava za gravitacijsku odvodnju površinskih voda troškovi njihovog redovitog održavanja iznose od 20,9 do 28,6 eura/ha odnosno 3,9 do 6,1 % od troškova njihove izgradnje. Također je važan podatak da se prinosi biljaka (t/ha) smanjuju od 23 do 52 % na površinama gdje se ne izvršavaju poslovi redovitog održavanja kako melioracijskih kanala tako i ostalih hidrotehničkih građevina sustava za odvodnju površinskih i podzemnih voda.

Uz problem nedovoljnog stupnja izgrađenosti, ratnim djelovanjem „bivše jugovojске i raznih srbočetničkih vojnih formacija“ u 1991. i 1992. godini razoren je i oštećen veći broj hidromelioracijskih građevina i sustava za odvodnju površinskih voda. Od 1991. do 1995. odnosno 1997. godine bilo je privremeno okupirano 296.510 ha površina s potpuno i dijelom izgrađenim hidromelioracijskim građevinama i sustavima površinske odvodnje. U sklopu tih površina bilo je i 62.380 ha poljoprivrednih zemljišta sa sustavima za odvodnju podzemnih voda. Na dijelu navedenih kao i na dijelu ostalih poljoprivrednih površina učinjene su ratne štete sa sljedećim posljedicama:

- smanjen prirodni i regulirani protjecajni profil pojedinih glavnih vodotoka te izvedbeni profil većeg broja melioracijskih kanala III. i IV. reda kao i tipskih betonskih propusta na njima, oštećeni dijelovi nasipa i smanjen stupanj njihovog zaštitnog djelovanja,

oštećenja brana i ustave na glavnim vodotocima, uništen i oštećen veći broj tipskih cijevnih i pločastih propusta kao i ostalih vodnih građevina na melioracijskim kanalima IV. i III. reda, uništeno i oštećeno 18 crpnih stanica ukupnog kapaciteta 96,9 m³/s.

Posljedice djelovanja prekomjernih oborina i površinskih voda na poljoprivrednom zemljištu prikazane su na slici 3., a (ne) održavanje melioracijskih kanala na slici 4.



Slika 3. Prikaz površinskih oborinskih voda na poljoprivrednim površinama

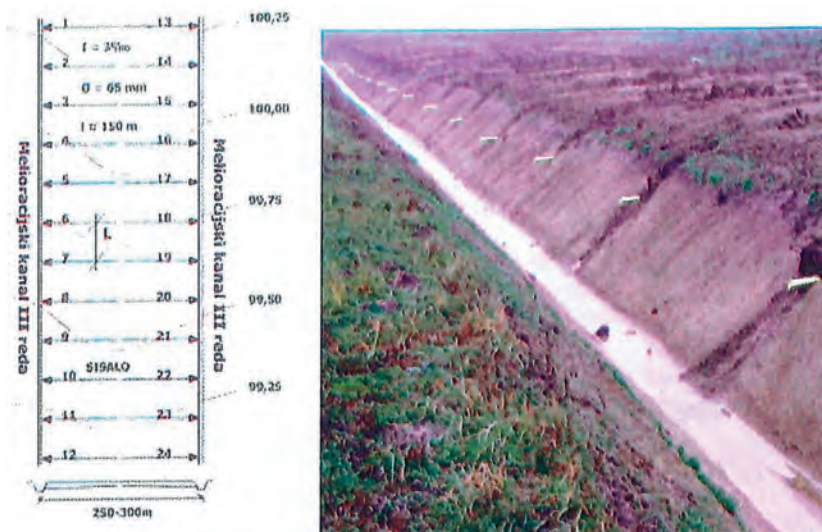


Slika 4. Prikaz velike obraslosti otvorenih melioracijskih kanala (III i IV reda) kao posljedice lošeg održavanja sustava (Petošić, 2015.)

3. HIDROMELIORACIJSKI SUSTAVI ZA ODVODNJU PODZEMNIH VODA

Na osnovu terenskih snimanja i ispitivanja te analiza obilježja melioracijskih područja u Hrvatskoj postoji 822.325 ha poljoprivrednih zemljišta s povremenim ili češćim zadržavanjem suvišne podzemne vode u zoni razvoja korijena biljaka (rizosferi). Ovisno o pedološkim obilježjima tla te intenzitetu i učestalosti oborina dubina i kretanja podzemne vode se mijenja. Spoznaja o fizičko - mehaničkim svojstvima tla vrlo je važna za donošenje prijedloga i odluka o potrebi izgradnje hidromelioracijskih sustava za odvodnju odvođe suvišne podzemne vode iz rizosfere. Izbor rješenja hidromelioracijskih sustava podzemne odvodnje ovisan je ponajprije o uzrocima zamočvarivanja, genezi i strukturi tla, o namjeni i načinu korištenja tla te o primjeni suvremene agrotehnike radi povećanja biljne proizvodnje, a njihovom izgradnjom ostvaruje se sljedeće:

- sniženje razine podzemne vode prema potrebama najpovoljnijeg razvoja biljaka, brže i lakše otjecanje suvišnih podzemnih voda iz oraničnog sloja i korijena biljnih kultura, brže prosušivanje tla u zoni korijena, brza aeracija tla i poboljšanje vodozračnih uvjeta, povećanje temperature tla, povećanje akumulacijske sposobnosti tla za vodu, bolje korištenje prirodnih i umjetnih hranjiva iz tla - prijeko potrebno za razvoj biljaka, povoljnija struktura zemljišta, brža i bolja klijavost sjemena biljaka, lakši i brzi rast kao i prodiranje korijena biljaka u dublje slojeve tla, najpovoljniji razvoj biljaka, pravodobna priprema i obrada zemljišta, racionalnije korištenje poljoprivrednih strojeva u procesu uzgoja te žetve i berbe biljaka, viši i stabilni prirod biljaka, povećanje dobiti u odnosu prema prethodnom stupnju proizvodnje na melioracijskim površinama odnosno hidromelioriranim zemljištima.



Slika 5. Prikaz „otvorenog“ načina klasičnog sustava cijevne drenaže s izljevom sisala u otvorene kanale III. / IV. reda (Petošić, 2015.)

Na slici 5. prikazani su h.s. podzemne odvodnje - s upustom drenažnih cijevi u melioracijske kanale. U sklopu navedenih značenja i učinaka, bitno je imati na umu da učinkovitost

djelovanja hidromelioracijskih sustava za odvodnju podzemnih voda u velikoj mjeri ovisi o stupnju izgrađenosti i održavanju građevina i sustava površinske odvodnje. Prema provedenim analizama, najbolji učinci te visoki i stabilni prirodi biljaka ostvareni su na onim poljoprivrednim zemljištima gdje je provedena komasacija i gdje su izgrađeni i redovno održavani hidromelioracijske građevine i sustavi za odvodnju površinskih voda.

Najviše h.s za odvodnju podzemne odvodnje izgrađeno je u 1985. godini- 18.500 ha; 1986. godini - 15.689 ha; 1983. godini - 14.539 ha, a u 1990. godine samo 6.420 ha. Od 1991. do 2007. godine h.s za odvodnju podzemnih voda izgrađeni su na samo 1.300 ha poljoprivrednih zemljišta. Također je važan podatak da je 99 % h.s za odvodnju podzemnih voda izgrađeno na poljoprivrednim zemljištu pravnih osoba odnosno (bivših poljoprivrednih kombinata), a samo 1 % na površinama obiteljskih poljoprivrednih gospodarstava. U procesu izrade projektnih rješenja hidromelioracijskih sustava za odvodnju podzemnih voda u najvećoj mjeri su korištene norme i iskustva iz Njemačke i Nizozemske, s obzirom da ne postoje hrvatski tehnički uvjeti i normativi. Od 1971. do kraja 1990. godine izgrađeni su h.s za odvodnju podzemnih voda na 161.530 ha odnosno na 19,6 % od ukupnih potreba. Sistematizacijom i analizom stanja funkcioniranja hidromelioracijskih sustava za odvodnju (za potrebe izrade Strategije upravljanja vodama, Hrvatske vode) u 2001. i 2002. godini utvrđeni su sljedeći pokazatelji:

- izgrađeni u potpunoj funkciji su hidromelioracijski sustavi za odvodnju podzemnih voda na 121.484 ha (14,8 %) a dijelom u funkciji na 27.168 ha (3,3 %). Smanjenje je 12.878 ha u odnosu na stanje 1990. godine je posljedica ratnog djelovanja u 1991. i 1992. godini i neodržavanja hidromelioracijskih sustava za odvodnju površinskih voda na privremeno okupiranom području Hrvatske. Na 148.652 ha poljoprivrednog zemljišta ugrađeno je 53.089.480 m PVC drenažnih cijevi od čega su promjera 50, 65 i 80 mm 94,8 % (cijevi "sisala"), a samo 5,2 % s promjerom 100, 125, 160, 180, 200 mm (cijevi skupljači i kolektori).

Nažalost, i uz nedovoljan stupanj izgrađenosti hidromelioracijskih sustava za odvodnju površinskih i podzemnih voda poljoprivrednih zemljišta, od 1991. nisu izvođeni poslovi njihovog održavanja što je dovelo do pogoršanja vodnog režima poljoprivrednih zemljišta. Od 1991. do 1997. zbog privremene okupiranosti na 290.000 ha nije bilo moguće izvoditi poslove redovnog održavanja, a i nakon toga na cijelom području Hrvatske smanjena su financijska sredstva za poslove redovnog održavanja h.s. površinske i podzemne odvodnje. A dio problema je nastao i zbog neriješenog statusa vlasnika i korisnika poljoprivrednog zemljišta kao i zbog učestalih promjena i nedosljedne provedbe zakona i pripadajućih podzakonskih propisa i odluka. Posljedice neodržavanja melioracijskih kanala i sustava podzemne odvodnje prikazane su na slici 6. Na slici 7. su prikazani obnovljeni i redovno održavani melioracijski kanali III. i IV. reda - što je preduvjet za funkcioniranje hidromelioracijskih sustava podzemne odvodnje. Od 1993. do 2022. godine održan je niz stručnih i znanstvenih skupova u području vodnog gospodarstva i poljoprivrede i suradničkih djelatnosti s velikim brojem radova u kojima su dokumentirani pokazatelji o sve lošijem stanju hidromelioracijskih sustava za odvodnju, a posljedica toga je pogoršanje vodnog režima poljoprivrednih zemljišta, povećani troškovi u procesu pripreme zemljišta za sjetvu i sadnju biljnih kultura te njihovog razvoja, ali i smanjenje prinosa (t/ha).



Slika 6. Fotografski prikazi (kao primjer) dokaza stanja neobnovljenih melioracijskih kanala III i/ili IV reda (CRORED-2, 2019.)



Slika 7. Fotografski prikazi (kao primjeri) dokaza stanja obnovljenih melioracijskih kanala III i/ili IV reda (CRORED-2, 2019.)

4. UKUPNE ŽETVENE POVRŠINE I PRINOSI PŠENICE I KUKURUZA

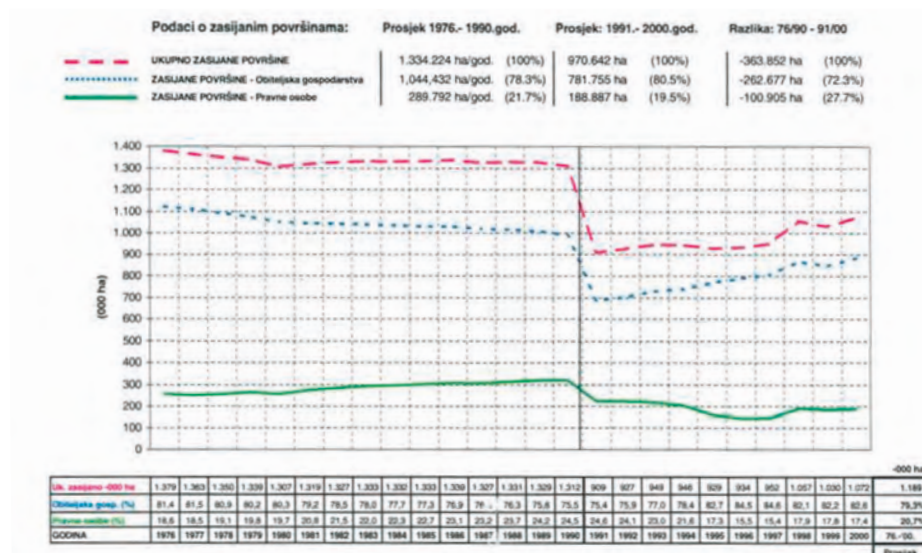
U skladu s metodologijom vođenja statističkih podataka nadležnih institucija izvršena je njihova sistematizacija i analiza ukupnih žetvenih površina s prosječnim prinosima pšenice i kukuruza u Hrvatskoj. Mjerodavni pokazatelji prikazani su na Slici 8. i Tablici 2. Zbog promjene načina vođenja podatka, posebno su dati pokazatelji za razdoblje od 1976. do 2000. godine i od 2017. do 2021. U cilju sagledavanja i vrednovanja ostvarenih prinosa pšenice i kukuruza treba imati na umu njihovu ovisnost o stupnju izgrađenosti i održavanja hidromelioracijskih građevina i sustava, kao i primjene suvremenih agrotehničkih mjera i tehnologija u procesu uzgoja biljnih kultura od pripreme zemljišta i sjetve (sadnje) do žetve (berbe).

Tablica 2. Ukupne žetvene površine i prinosi pšenice i kukuruza u Republici Hrvatskoj i Slavoniji i Baranji od 1976. - 1990. - 2000. godine

Žitarica Područje	Jed. mj.	Razdoblje 1976. - 1990.			Razdoblje 1991. - 2000.		
		OPG	PK	Ukupno	OPG	PK	Ukupno
Pšenica R. Hrvatska	ha	222 149	100 957	323 106	156 866	61 779	218 645
	t/ha	3,03	5,46	3,80	3,56	5,05	3,99
Pšenica Slavonija i Baranja	ha	61 147	79 694	143 841	61 571	46 409	107 980
	t/ha	3,96	5,74	4,97	4,09	5,21	4,59
Kukuruz R. Hrvatska	ha	418 044	84 087	502 131	323 562	60 337	383 899
	t/ha	4,08	6,41	4,47	4,60	6,06	4,83
Kukuruz Slavonija i Baranja	ha	144 886	59 123	204 009	115 540	40 902	156 442
	t/ha	5,23	6,87	5,68	5,47	6,23	5,68

Ukupno zasijane površine u Republici Hrvatskoj od 1976. do 1990. godine - 1.334.224 ha/godišnje, a od toga je OPG - 1.044.432 ha/god (78,3 %) i pravne osobe - PK - 289.782 ha/god (21,7 %).

Ukupno zasijane površine od 1991. do 2000. - 970.642 ha/god, a od toga je OPG - 781.755 ha/god (80,5 %) i pravne osobe - PK 188.887 ha/god (19,5 %). Od 1991. do 2000. godine zasijano je 363.582 ha/god manje u odnosu na razdoblje od 1976. do 1990. godine. Od 2017. do 2021. zasijano je prosječno godišnje samo 136.410 ha pšenice i samo 262.946 ha kukuruza u Hrvatskoj !!! Smanjenje sjetvenih površina je dijelom posljedica neodržavanja hidromelioracijskih sustava, a istovremeno se povećava uvoz hrane i platni deficit u području poljoprivrede Republike Hrvatske.



Slika 8. Pregled ukupno zasijanih površina u Hrvatskoj od 1976. do 2000.godine

Zbog promjene načina vođenja podataka daju se posebno prosječni pokazatelji za razdoblje od 2017. do 2021.:

- pšenica: žetvena površina 136.410 ha/god; prinos - 5,9 t/ha,
- kukuruz: žetvena površina 262.946 ha/god; prinos - 8,1 t/ha.

Primjenom suvremenih agrotehničkih mjera i tehnologijom povećani su prosječni prinosi, ali su u velikoj mjeri smanjene žetvene površine pšenice i kukuruza. U istom razdoblju ukupne žetvene površine svih žitarica bile su 497.530 ha/god., a površina svih oranica i vrtova 837.540 ha/god. !!! Navedeni pokazatelji potvrđuju veliko smanjenje žetvenih površina žitarica od 1991. do 2021. u odnosu na razdoblje od 1976. do 1990. Nažalost, s ratnim djelovanjem agresora na Hrvatsku, ali i cjelokupnim pogoršanjem stanja u poljoprivredi od 1991. prestala su terenska i laboratorijska ispitivanja i mjerenja na četiri pokusna polja po hidrotehničkim i agrotehničkim kriterijima. Utjecaj hidromelioracijskih građevina i sustava površinske i podzemne odvodnje na porast prinosa biljnih kultura obavlja se od 1975. - 1980. - 1990. na pokusnim poljima izbornih površina sliva Biđ - Bosut, Karašica - Vučica, Črnc polje i Lonjsko polje. Od 1976. do 2000. godine nadležne institucije vodile su evidenciju o površinama i prinosima biljnih kultura posebno za Panonsku, Jadransku i Sjevernu Hrvatsku te Grad Zagreb i ukupno za Republiku Hrvatsku. Zbog navedenih razloga nije moguće dati usporedne podatke za razdoblja 1976. - 1990. - 2000. i razdoblje 2001.-2021. godine. Za potrebne konstatacije i analize potrebni su podaci o vlasnicima i korisnicima poljoprivrednih zemljišta, provedba komasacija zemljišta kao i kontinuitet provedbe hidrotehničkih i agrotehničkih mjera i radova - uključujući i dosljednu provedbu zakona i propisa u području vodnog gospodarstva i poljoprivrede.

5. KONSTATACIJE I PRIJEDLOZI - UMJESTO ZAKLJUČKA

1. Od 1986. godine u Hrvatskoj je počelo smanjivanje, a od 1991. uslijedio je prestanak radova na izgradnji novih i dogradnji postojećih hidromelioracijskih sustava za odvodnju. Istovremeno je smanjen realan iznos potrebnih sredstava slivne vodne naknade za poslove redovnog održavanja hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje. Posljedica toga je sve niži stupanj odvodnje suvišnih voda i pogoršanje vodno - zračnog režima poljoprivrednih zemljišta. Zbog toga je došlo do smanjenja prinosa biljnih kultura i povećanja troškova u procesu njihovog uzgoja.
2. Od 1976. do 1990. godine prosječno zasijane površine u Hrvatskoj su bile 1.334.224 ha/godišnje, a od toga u posjedu obiteljskih gospodarstava 1.044.432 ha (78,3 %), a u po-sjedu pravnih osoba 289.792 ha (21,7 %). Od 1991. do 2000. prosječno zasijane površine u Hrvatskoj su bile 970.642 ha/godišnje, a to je za 363.582 ha manje od razdoblja 1976. - 1990. (262.677 ha manje u posjedu obiteljskih gospodarstava i 100.905 ha pravnih osoba).
3. Na površinama s potpuno izgrađenim i redovno održanim hidromelioracijskim sustavima kombinirane odvodnje od 1981. do 1990. prosječni prirodni prinosi pšenice bili su 7,41 t/ha, a kukuruza 8,63 t/ha. Na površinama s potpuno izgrađenim i dijelom održanim hidromelioracijskim sustavima površinske odvodnje prosječni prirodni prinosi pšenice su bili 4,13 t/ha, a kukuruza 4,68 t/ha, a bez održavanja samo 2,32 t/ha odnosno 2,97 t/ha.
4. Zbog smanjenja realnog iznosa sredstava slivne vodne naknade odnosno neizvršavanja poslova redovnog održavanja od 1991. potrebno je izdvojiti od 3 do 12 puta veća sredstva (od iznosa potrebnog za redovito održavanje) za dovođenje hidromelioracijskih odvodnih sustava na njihovu projektno - izvedbenu razinu i optimalno funkcioniranje.
5. Potrebna je dosljedna provedba Zakona o vodama i Zakona o financiranju vodnog gospodarstva te Pravilnika o tehničkim, gospodarskim i drugim uvjetima za uređenje sustava melioracijske odvodnje. Sastavni dio toga je provedba Zakona o poljoprivrednom zemljištu.
6. U cilju dogradnje postojećih i izgradnje novih hidromelioracijskih sustava te povećanja površina (veličina) poljoprivrednih parcela potrebno je izraditi program provedbe (re) komasacije zemljišta u Hrvatskoj. A to je i preduvjet za racionalnije korištenje strojeva kao i provedbe odgovarajućih agrotehničkih mjera u procesu uzgoja biljnih kultura - kao sastavnog dijela dugoročnog programa proizvodnje hrane u Hrvatskoj.

LITERATURA

- [1] Hrvatska gospodarska komora i Državni zavod za statistiku: Podaci o zasijanim i žetvenim površinama i prinosima biljnih kultura, 1976. - 1990. - 1995. - 1996. i 2000.g., Zagreb
- [2] Kos, Z (1985.): *Osnovni principi planiranja vodoprivrednih sustava – posebno odvodnih sustava*, Priručnik za hidrotehničke melioracije, I. kolo, knjiga 3, Društvo za odvodnju i navodnjavanje Hrvatske (DONH), Zagreb, str. 7-30
- [3] Marušić, J (1992.): *Analiza građenja hidromelioracijskih sustava u Hrvatskoj od 1975. do 1990.*, Građevinar, 44, Zagreb, str. 445-452
- [4] Tomić, F.; Buntić, Z.; Marušić, J.(1993.): *Uređenje poljoprivrednih površina u Hrvatskoj*, Hrvatske vode, 1(1), Zagreb, str. 51-60
- [5] Tomić, F.; Marušić, J. (1994.): *Uloga melioracija u razvoju agrara Hrvatske*, Poljoprivredne aktualnosti, 30, Zagreb, str. 413-420
- [6] Marušić, J. (1994.): *Ratne štete, obnova i održavanje hidromelioracijskih sustava za odvodnju*, Savjetovanje „Poljoprivreda i gospodarenje vodama“, Bizovačke Toplice, str. 317-336
- [7] Marušić, J. (1997.): *Održavanje hidromelioracijskih sustava za odvodnju u Hrvatskoj*, Građevni godišnjak 1997, HSGI, Zagreb, str. 329-372
- [8] Vidaček, Ž. (1998.): *Gospodarenje melioracijskim sustavima odvodnje i natapanja*, Agronomski fakultet u Zagrebu i Hrvatsko društvo za odvodnju i navodnjavanje, Zagreb, str. 1-168
- [9] Marušić, J. (1999.): *Održavanje hidromelioracijskih kanala i vodnog režima poljoprivrednih zemljišta*, 2. Hrvatska konferencija o vodama, Dubrovnik, str. 673-980
- [10] Marušić, J. (2000.): *Komasacije i hidromelioracije zemljišta - preduvjet dugoročnog i stabilnog razvitka poljoprivrede*, Geodetski list, Zagreb, str. 105-120
- [11] Tadić, L. (2001.): *Analiza indikatora relevantnih za održivo gospodarenje vodama sliva Karašice i Vučice*, disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, str. 1-122
- [12] Marušić, J. (2003.): *Stanje i značenje hidromelioracijskih objekata i sustava za poljoprivrednu proizvodnju u Hrvatskoj*, Priručnik za hidrotehničke melioracije, III kolo, kopija 1, GF Rijeka; HDON i HHO Zagreb, str. 49-96
- [13] Marušić, J. (2004.): *Hidromelioracijski sustavi - preduvjet razvoja poljoprivrede*, 39. Znanstveni skup hrvatskih agronoma, Opatija, 431- 442
- [14] Hrvatske vode (2008.): *Strategija upravljanja vodama*, Zagreb, str. 1-165
- [15] Josipović, M. i suradnici (5) (2010.): *Stanje i uređenost melioracijskih sustava za odvodnju u Republici Hrvatskoj*, Melioracije 10. tematski zbornik radova, Novi Sad, str. 230-237
- [16] Pondeľjak, J., Novosel, T. (2010.): *Crpne stanice u melioracijama, Hidrotehničke melioracije u Hrvatskoj*, zbornik radova, HDON, Višnjica, Slatina, str. 209-223

- [17] Petošić, D. (2015.): Drenaža, Udžbenik Sveučilišta u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb, str. 1-219
- [18] Marušić, J., Holjević, D., Đuroković, Z. (2016.): *Komasacija i hidrotehničke melioracije - preduvjet gospodarenja poljoprivrednim zemljištem*, Sabor hrvatskih graditelja, Cavtat, str. 607-618
- [19] Marušić, J., Holjević, D. (2019.): *Hidromelioracijski sustavi za odvodnju u funkciji optimalnog vodnozračnog režima poljoprivrednih zemljišta*, Zbornik radova 7. HKOV, Opatija, str. 809-825
- [20] Holjević, D., Marušić, J. (2016.): *Stanje izgrađenosti i problem održavanja hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje*, HDON, Okrugli stol „Hidrotehničke melioracije u Hrvatskoj - stanje i izazovi“, Višnjica, str. 55-68
- [21] Petošić, D; Mustać, I; Bakić - Begić, H. (2019.): „*Procjena pogodnosti s mjerama uređenja dreniranog poljoprivrednog zemljišta za primjenu navodnjavanja u Republici Hrvatskoj (CRORED-2)*“, Studija Agronomski fakultet Zagreb
- [22] Petošić, D. (2021.): *Drenaža zemljišta Hrvatske*, monografija, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb, str. 1-233
- [23] Hrvatska gospodarska komora, Sektor za poljoprivredu, Radovi o sjetvenim i žetvenim površinama biljnih kultura i njihovi prinosi od 2016. - 2020., Zagreb

AUTORI

prof. dr. sc. Josip Marušić ^a

prof. dr. sc. Marko Josipović ^b

prof. dr. sc. Dragutin Petošić, prof. emer. ^c

^a Akademija tehničkih znanosti, Kačićeva ul. 28, 10000 Zagreb, Hrvatska, josip.marusic12@gmail.com

^b Poljoprivredni institut, Ul. Južno predgrađe 17, 31000 Osijek, Hrvatska, marko.josipovic@poljinos.hr

^c Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Hrvatska, dpetosic@agr.hr



R 2.19.

DOSTUPNOST I KVALITETA VODE ZA NAVODNJAVANJE U KRŠKIM PODRUČJIMA

Dunja Vlatković

SAŽETAK: Krška područja imaju složene hidrološke sustave s podzemnim i površinskim tokovima. U Hrvatskoj je na gotovo 50 % kopnenog teritorija karbonatno krško područje, pa se značajan dio podzemnih vodnih resursa nalazi u krškim vodonosnicima. Količine vode u krškim područjima variraju ovisno o sezonskim i klimatskim uvjetima. Rezultati dosadašnjih istraživanja su pokazali da krška područja Hrvatske uglavnom imaju dovoljne količine voda koje omogućuju razvoj sustava za navodnjavanje poljoprivrednih površina. Zbog specifičnosti terena i nedostatka površinskih tokova, navodnjavanje na krškim područjima često se zasniva na korištenju podzemnih voda, ali u nekim slučajevima i na korištenju površinskih voda iz malih akumulacija izgrađenih za prikupljanje i zadržavanje oborinskih voda.

KLJUČNE RIJEČI: Krško područje, Podzemni vodonosnici, Kavernozno - pukotinski sustavi, Navodnjavanje

AVAILABILITY AND QUALITY OF GROUNDWATER FOR IRRIGATION IN KARST AREAS

ABSTRACT: Karst areas are characterised by complex hydrological systems with groundwater and surface water flows. Almost 50 % of Croatian land area is a carbonate karst area, thus a significant share of groundwater resources is located in karst aquifers. Water quantity in karst areas varies, depending on seasonal and climate conditions. The results of research to - date have shown that karst areas in Croatia mostly contain sufficient water quantities to enable the development of systems for irrigation of agricultural land. Due to the terrain specificities and a shortage of surface flows, irrigation in karst areas is frequently based on groundwater use, although, in some cases, surface water from small reservoirs built for collection and retention of precipitation water is used as well.

KEYWORDS: Karst area, Aquifers, Fracture - cavernous systems, Irrigation

1. UVOD

Hrvatska je mediteranska zemlja s prostranim krškim područjima u planinskom i jadranskom dijelu države koji su pretežno vezani za geološke strukture Dinarida u čijoj građi

prevladavaju karbonatne stijene. Karbonatno krško područje pokriva oko 50 % ukupnog kopnenog dijela (oko 26.000 km²) Hrvatske pogotovo južnog teritorija kao i jadranske otoke te je gotovo polovica svih resursa podzemne vode vezana za krške vodonosnike.

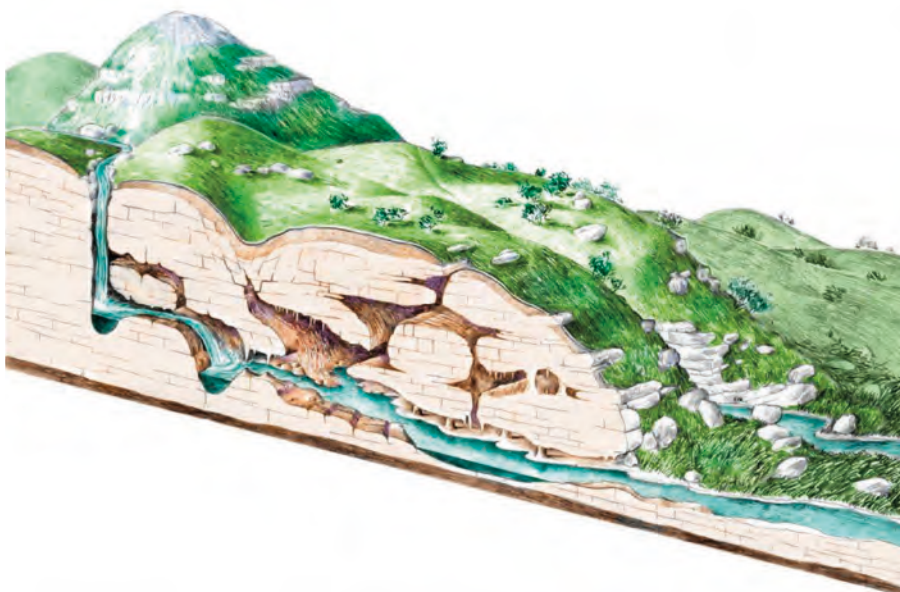
Krška područja u Republici Hrvatskoj se prema prirodno - geografskim cjelinama dijele na gorsko - planinski prostor u središnjem dijelu (14 % teritorija) - dinarski krški prostor s najvišim hrvatskim planinama (1.300 - 1.800 m n.m.) koji dijeli unutrašnjost od jadranskog primorja i čini razvodnicu između crnomorskog i jadranskog sliva i mediteranski prostor ili jadransko primorje na jugu (32 % teritorija) koje obuhvaća otoke, usko obalno područje i zaleđe sjevernog (Istra, Kvarner, Podvelebitsko primorje) i južnog primorja (Dalmacija).



Slika 1. Krško područje u Hrvatskoj (Herak, M., 1991.)

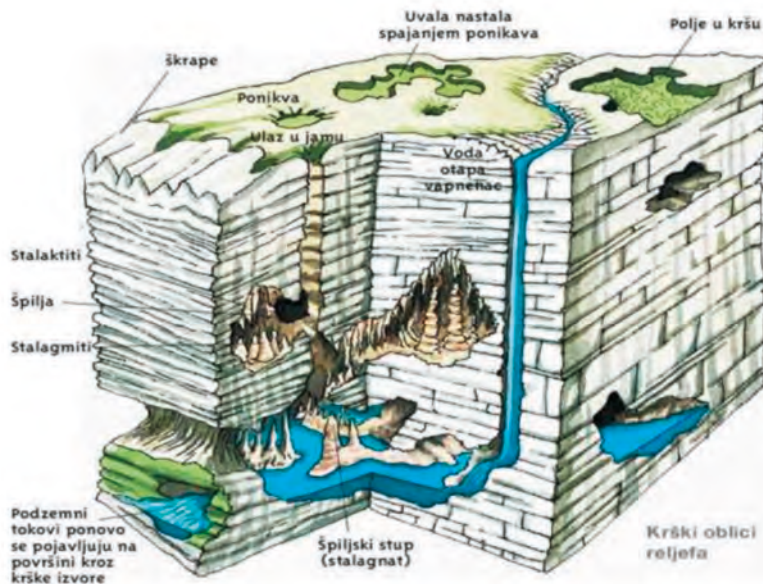
2. DOSTUPNOST I KOLIČINA VODE U KRŠKOM PODRUČJU

Krško područje je specifično područje koje se odlikuje manjkom površinskih vodnih resursa jer prevladavajuće karbonatne stijene i njihova tektonska razlomljenost pospješuju poniranje atmosferskih voda u podzemlje. Za krš je svojstvena dinamična i izravna veza površinske i podzemne vode gdje vode koje teku i poniru i podzemni putovi kojima se isprepleću, međusobno se napajaju pa opet izvire. Osnovna značajka vodotoka u kršu je manjak vode na pretežno suhoj površini, te istodobno mnogo vode u podzemlju gdje uz dovoljno kiše u dubljim šupljinama nastaju prirodni vodeni rezervoari. Hidrološke specifičnosti krša su brza infiltracija oborina, mala akumulacijska sposobnost u zoni sitne pukotinske poroznosti, te velika provodnost i stvaranje povremenih površinskih i podzemnih akumulacija u zonama krupnih pukotina. Krške tekućice su većinom kraće ponornice, a tipični i višestruki sustavi ponornica u Republici Hrvatskoj su osobito slivovi Kupe, Like i Neretve. Najveći krški izvori formirani su na rubovima planinskog i jadranskog područja - izvori Rječina, Novljanska Žrnovnica, Zrmanja, Krka, Cetina, Ombla, koje čine dio slivova Jadranskog mora.



*Slika 2. Veza površinskih i podzemnih voda u krškom području
(<https://crorivers.com/krske-rijeke/>)*

Glavnina oborinskih voda ponire u dublje slojeve, do nepropusnih horizonata gdje se nalaze ležišta podzemne vode i stalni krški izvori. Tokovi podzemne vode su vezani za kavernozno - pukotinske sustave, relativno su velikih brzina podzemnih tokova (do 30 cm/s), a amplitude istjecanja na krškim izvorima variraju do 200 m³/s. Vodotoci se javljaju u predjelima slabije izraženih krških fenomena, gdje ima aluvijalnih naplavina i gdje podzemna cirkulacija nije duboka. Na otocima zapravo nema površinskih voda, osim povremenih bujičnih tokova ili rijetkih izvora, obično malog kapaciteta. Iznimka je jezero Vrana na otoku Cresu, najveće prirodno jezero u Hrvatskoj. More uz obalu obiluje vruljama.



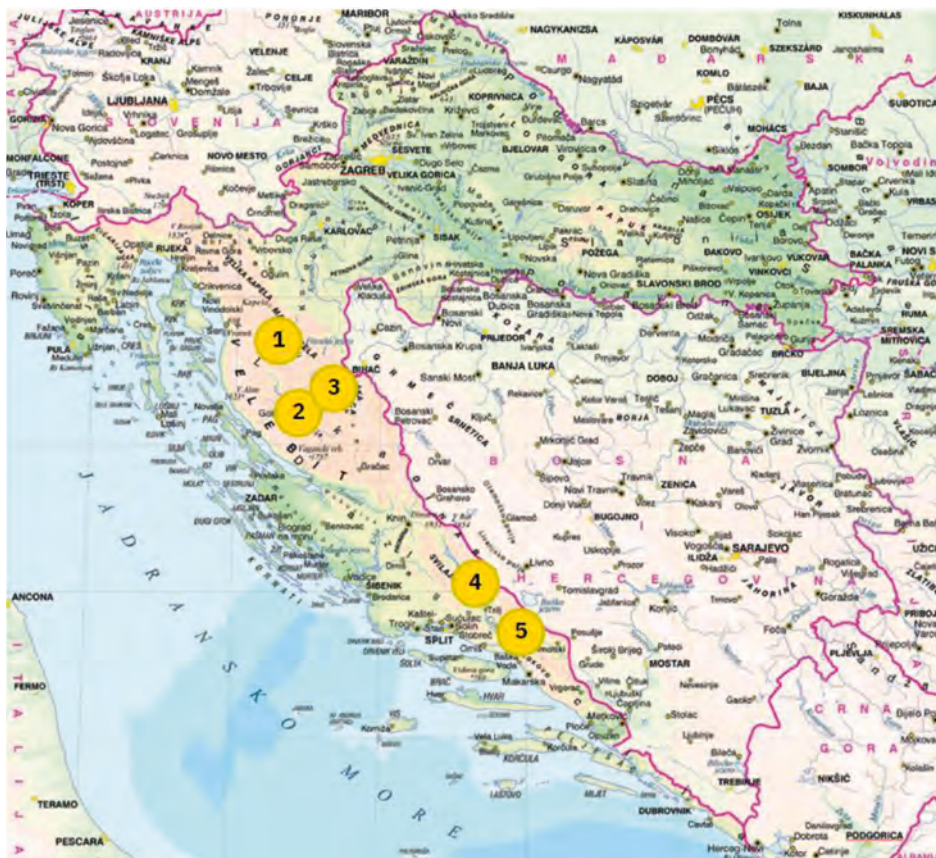
Slika 3. Podzemni i površinski krški geomorfološki oblici
(file:///D:/Downloads/cercic_petra_odvodnja_prometnica_u_krsu-1.pdf)

Osnovni problem količinske nestabilnosti krških vodonosnih sustava vezan je uz duga ljetna sušna razdoblja i relativno slabe retencijske sposobnosti vodonosnika pa ljetna razdoblja najčešće znače bitno smanjenje istjecanja vode na izvorima, a ponekad i potpuna presušivanja. Odnosi istjecanja na krškim izvorima tijekom sušnih i kišnih razdoblja su jedan prema nekoliko stotina, a neki od velikih krških izvora ostaju potpuno bez istjecanja, jer su izvan domašaja temeljnih tokova. Međutim, temeljni tok tijekom sušnih razdoblja postoji i odraz je određenog stupnja zadržavanja vode u krškom podzemlju.

Za ocjenu stupnja prirodne ranjivosti krških vodonosnika korištene su tri skupine hidrogeoloških parametara:

- geološka građa vodonosnika, izražena preko stupnja vodopropusnosti stijena i naslaga, od površine terena preko nesaturirane do saturirane zone,
- stupanj okršenosti, izražen preko koncentracija vrtača, jama s vodom i stalnih i povremenih ponora,
- nagib terena i količina oborina.

Na temelju rezultata prostorne analize utjecajnih parametara, područje krša u Hrvatskoj podijeljeno je u pet kategorija ranjivosti. Prirodno najranjivija područja, odnosno područja najosjetljivija na negativni utjecaj s površine terena, s kojih bi potencijalno onečišćivalo najbrže i u najvećoj koncentraciji moglo negativno utjecati na kakvoću podzemne vode, osobito su vezana za područja visoke okršenosti, s jamama i ponorima gdje površinske vode dolaze u izravan kontakt s podzemnom vodom i gdje transport kroz nesaturiranu zonu može biti vrlo brz, zbog prostranih kavernoznih prostora u podzemlju.



Slika 4. Najveća krška polja u Hrvatskoj: 1. Gacko polje i izvor rijeke ponornice Gacke, Majerovo vrilo; 2. Ličko polje - najveće krško polje u Hrvatskoj; 3. Krbavsko polje; 4. Sinjsko polje - leži podno Sinja, s obiju strana Cetine i najveće je polje Dalmatinske zagore; 5. Imotsko polje - jedno od najplodnijih poljoprivrednih područja u cijeloj Dalmatinskoj zagori (<https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/0f959e7d-cd12-413c-adce-29e1ac8a4596/hrvatskim-krsom.html>)



Slika 5. Majerovo vrilo, Gacko polje (Google maps slika)



Slika 6. Ličko polje (Google maps slika)



Slika 7. Krbavsko polje (Google maps slike)



Slika 8. Sinjsko polje



Slika 9. Imotsko polje (Google maps slike)

Voda je jedan od osnovnih prirodnih resursa koji omogućava život na zemlji stoga je održavanje razine kvalitete vode jedan od primarnih ciljeva.

Podzemna voda gledana kroz kemijski i dinamički potencijal ima značajan odraz na stanje kakvoće vode u krškim vodnim tijelima podzemne vode. Takva voda je izuzetne kakvoće, uglavnom bez kemijskog i bakteriološkog onečišćenja. Specifično, vode kratkog zadržavanja u krškom podzemlju, nastale kao posljedica poplavnih valova koji ispiru onečišćenja akumulirana na površini terena imaju velikih problema s količinom i kakvoćom.

Krški vodonosni sustavi osjetljiviji su na onečišćenje. Zbog brze infiltracije oborina i prihranjivanja vodonosnika, velikih brzina protoka i kratkog vremena zadržavanja vode, prirodna zaštita od onečišćenja unesenih u krške vodonosnike je vrlo mala. Krška područja imaju još jedno svojstvo koje ih čini ranjivima, a to su velike količine udubljenja, kanala, vrtača, dolina i slično. Nažalost takve strukture čine prikladno mjesto za odlaganje otpada koji nerijetko sadrži opasni materijal.

Europska unija je 2000. godine donijela Okvirnu direktivu o vodama (ODV) u svrhu zaštite kakvoće i količinskog stanja podzemne vode koja određuje okvire zaštite podzemnih voda, odnosno kontrole unosa onečišćenja u podzemne vode, u cilju ostvarenja dobrog kemijskog i količinskog stanja tijela podzemne vode. Osnovni cilj ODV je zadržati „vrlo dobro stanje“ voda tamo gdje takvo stanje postoji, spriječiti narušavanje postojećeg stanja i postići najmanje „dobro stanje“ ili potencijal vodnih tijela do 2021. godine, s tendencijom pomaka do 2027., kao cilj za sve zemlje članice Europske unije.

Jedan od najvažnijih aspekata dobre kontrole podzemnih voda odnosno ocjene stanja voda je monitoring kvalitete vode. Cilj monitoringa je definiranje cjelovitog pregleda statusa voda za svako slivno područje te klasifikacija površinskih i podzemnih voda u kategorije. U današnje je vrijeme nezamislivo uspostaviti zaštitu izvorišta pitke vode ili sustava upravljanja vodnim resursima bez poznavanja slivova odnosno prostornog rasporeda cjelina podzemnih voda. Analiza značajki jadranskog vodnog područja sastavni je dio Plana upravljanja vodnim područjima u Republici Hrvatskoj koji propisuje analizu značajki sliva te pregled utjecaja ljudskog djelovanja na stanje površinskih voda, uključivo prijelaznih i priobalnih voda te podzemnih voda. Monitoring podzemne vode propisan je u odrednicama Okvirne direktive o vodama (2000/60/EC). Još je bolje razrađen u Vodiču o praćenju podzemnih voda br. 15 - Monitoring podzemne vode u kojem su dane opće upute monitoringa za različite kategorije vodonosnika, upute za izradu konceptualnog modela, izradu mreže motrenja i učestalost uzorkovanja i drugo.

Značajni problemi vezani su za obalne dijelove vodnih tijela podzemne vode i otoke, gdje se tijekom ljetnih sušnih razdoblja, zbog smanjenog pritiska slatke vode iz unutrašnjosti tijela te direktnog prihranjivanja padalinama, povećava utjecaj mora. Veliki broj krških priobalnih izvora tijekom sušnih razdoblja zaslanjuje se i u prirodnim uvjetima. Najveći su problem izvorišta u obalnom području i na otocima uključena u vodoopskrbu, gdje zbog eksploatacije vode dolazi do jačih prodora morske vode u vodonosnike.



Slika 10. Dolina rijeke Neretve, primjer dobre poljoprivredne prakse u zaslanjenim uvjetima navodnjavanja

ZAKLJUČAK

Dostupnost i kvaliteta vode za navodnjavanje važni su preduvjeti za daljnji razvoj poljoprivrede na krškim područjima. Rezultati dosadašnjih istraživanja su pokazali da krška područja Hrvatske uglavnom imaju dovoljne količine voda koje omogućuju navodnjavanje. Zbog specifičnosti terena i nedostatka površinskih tokova, navodnjavanje na krškim područjima često se zasniva na korištenju podzemnih voda, ali u nekim slučajevima i na korištenju površinskih voda iz malih akumulacija izgrađenih za prikupljanje i zadržavanje oborinskih voda. Budući da se uglavnom radi o manjim količinama raspoložive vode, najčešće se primijenjuje metoda navodnjavanja „kap po kap“ koja omogućuju njeno racionalno korištenje.

LITERATURA

- [1] Herak, M. (1991.): *Dinaridi - mobilistički osvrt na genezu i strukturu*, Acta Geologica, 21/2, (Prirodoslovna istraživanja, 63), Zagreb, pp.1-83 (35-117).
- [2] Internetski preglednik
- [3] Plan upravljanja vodnim područjima do 2027. (Narodne novine, broj 84/23)
- [4] Plan upravljanja vodnim područjima 2016. do 2021. (Narodne novine, broj 66/16)
- [5] Štambuk - Giljanović, N. (1994.): *Vode Dalmacije*, Tisak DES, Split, 263

AUTOR

Dunja Vlatković, mag. ing. aedif.^a

^a Hrvatske vode, VGO za slivove južnog Jadrana, Vukovarska 35, 21000 Split, Hrvatska, dunja.vlatkovic@voda.hr



R 2.20.

OCJENA UČINKOVITOSTI NAVODNJAVANJA VINOGRADA U AGROEKOLOŠKIM UVJETIMA ZAPADNE ISTRE

Monika Zovko, Katrin Bilić, Marijan Bubola, Marko Reljić, Davor Romić

SAŽETAK: U Mediteranskom području, koje čini 40 % svjetskih vinogradarskih površina, suočavamo se s ozbiljnim izazovima vezanim uz promjenljivost klime s obzirom na direktne posljedice suša. Prinos i kvaliteta grožđa može biti značajno ugrožena zbog klimatskih promjena. Primjena navodnjavanja postaje nužna kako bi se očuvala vinogradarska proizvodnja. Tijekom 2022. godine, na lokaciji Sv. Lucija u Istri, postavljen je pokus navodnjavanja sorte Teran s varijantama navodnjavanja od 25 % do 100 % ET_k , uključujući i kontrolnu varijantu bez navodnjavanja. Kao ključni parametar vodnog stresa, mjerio se vodni potencijal lista, dok je prinos grožđa po trsu koristio za procjenu produktivnosti. Trsovi kontrolne varijante, koji nisu bili navodnjavani, pokazali su najveći vodni stres, vidljiv kroz negativne vrijednosti vodnog potencijala. Varijanta s navodnjavanjem od 100 % ET_k pokazala je najmanji pad potencijala između termina mjerenja, ukazujući na najstabilnije uvjete navodnjavanja. Statistički je značajno veći prinos zabilježen kod varijante navodnjavanja od 100 % ET_k u usporedbi s kontrolnom varijantom. Iako Teran prirodno pokazuje određenu razinu otpornosti na sušu, rezultati istraživanja ističu važnost pažljivog upravljanja navodnjavanjem. Navodnjavanje, kada se pravilno upravlja, može ublažiti negativne učinke klimatskih promjena, posebno u regijama osjetljivima na vodni stres. Integracija lokalnih znanja, kao što je ono iz Istre, ključna je za održivost i kvalitetu proizvodnje vinove loze u budućnosti.

KLJUČNE RIJEČI: Vinogradarstvo, Klimatske promjene, Navodnjavanje, Prilagodba

EVALUATION OF VINEYARD IRRIGATION EFFICIENCY IN AGROECOLOGICAL CONDITIONS OF WESTERN ISTRIA

ABSTRACT: In the Mediterranean region, which accounts for 40 % of the world's vineyard areas, we are facing serious challenges related to climate variability, particularly direct consequences of droughts. Yield and grape quality can be significantly compromised due to climate change. Implementing irrigation becomes essential to preserve viticultural production. In 2022, an irrigation trial with the Teran grape variety was set up at the location of Sv. Lucija in Istria, with irrigation variants ranging from 25 % to 100 % ET_c irrigation levels, including a control variant with no irrigation. The leaf water potential was

measured as the key parameter of water stress, while the grape yield per vine was used for productivity assessment. The vines in the control group (unirrigated) showed the highest water stress, which was evident from the negative values of the leaf water potential. The variant at 100 % ETC irrigation level showed the smallest decrease in potential between measurement dates, indicating the most stable irrigation conditions. A statistically significantly higher yield was recorded for the variant at 100 % ETC irrigation level compared to the control variant. Although Teran naturally exhibits a certain level of drought resilience, the trial results highlight the importance of careful irrigation management. Irrigation, when properly managed, can mitigate the negative effects of climate change, especially in regions sensitive to water stress. The integration of local knowledge, such as that from Istria, is crucial for the sustainability and quality of grapevine production in the future.

KEYWORDS: Viticulture, Climate change, Irrigation, Adaptation

1. UVOD

Klimatske promjene predstavljaju multidisciplinarnu izazovu s političkim, ekonomskim i socijalnim dimenzijama. Posebno su izraženi u poljoprivrednom sektoru, kojeg karakterizira ovisnost o vremenskim uvjetima. U kontekstu Mediterana, temperaturni ekstremi i produžena sušna razdoblja imaju direktan utjecaj na poljoprivrednu proizvodnju, uključujući vinogradarstvo (Finco i sur., 2022.). Mediteranski prostor obuhvaća 40 % ukupne vinogradarske površine na globalnoj razini, gdje se vinova loza uzgaja u oskudnim uvjetima tla i promjenjivim klimatskim uvjetima (Santillan i sur., 2019.). Iako je vinova loza (*Vitis vinifera* L.) otporna na sušu, nedostatak vode u određenim fenofazama može imati utjecaja na sazrijevanje, prinos, težinu i kvalitetu bobica. Više temperature potiču ranije cvjetanje, sazrijevanje i berbu što negativno utječe na kemijski sastav grožđa (primjerice veći sadržaj šećera i smanjena kiselost) što rezultira neuravnoteženim vinima. Sušniji uvjeti pogoršavaju učinke toplinskog stresa jer suha tla ne mogu osigurati latentno toplinsko hlađenje evapotranspiracijom, što rezultira višim temperaturama na razini čitave biljke (Costa i sur., 2023.). Stoga odgovarajuća dostupnost vode u skladu s razvojnim fazama vinove loze, tijekom vegetacijske sezone je bitna, kako bi se dobilo grožđe dobre kvalitete (Trigo-Córdoba i sur., 2015.). Osim kratkoročnih učinaka na kvalitetu vina (Romić i sur., 2020.), klimatske promjene imaju i dugoročne posljedice na održivost vinogradarskih regija, stoga su prilagodbe na njih prijeko potrebne. Prilagodbe uključuju promjenu biljnog materijala (biranje sorti bolje prilagođenih na sušne uvjete), izmjenu vinogradarskih tehnika (primjerice promjena načina orezivanja) tako da se datumi berbe održavaju u optimalnom razdoblju krajem rujna ili početkom listopada ili odabir tla s većim kapacitetom zadržavanja vode u tlu te primjenom navodnjavanja (van Leeuwen i sur., 2019.). U Europi se samo 10 % vinogradarskih područja navodnjava, ali su u porastu kako bi se ublažili učinci klimatskih promjena. Posljedice ovakvih promjena su povećanja vodnog i toplinskog stresa za vinovu lozu, što prisiljava vinogadare Istre da razmišljaju o rješenjima za očuvanje svoje proizvodnje. Za one koji planiraju provedbu mjera navodnjavanja na lokalnoj / županijskoj razini postavljaju se prioritete definiranja područja gdje se trebaju uspostaviti sustavi javnog navodnjavanja što podrazumijeva određivanje područja / položaja koji pate od nedostatka vode (Zovko i sur., 2019.). To može pomoći u opravdavanju zahtjeva za odobrenje za navodnjavanje.

Također može pomoći u boljem upravljanju vodnim resursima, optimizirajući njihovu upotrebu za područja kojima je to najpotrebnije. To najviše dolazi do izražaja u Istarskoj županiji u kojoj vinogradi zauzimaju ukupno 2.652 ha poljoprivrednog zemljišta (slika 1), a restrikcije potrošnje vode u pravilu su sve češće tijekom turističke sezone kada su upravo i najveće potrebe za navodnjavanjem.

Sa stajališta vinogradara važno je odrediti područja unutar vinograda koji najviše pate od suše te predstavljaju prioritet za ulaganje u sustav navodnjavanja. Kvantificiranje i praćenje vodnog statusa vinove loze također bi moglo pridonijeti ubrzanju promjena načina uzgoja u tim područjima (izbor položaja pri podizanju nasada, izbor sorti, međuredna obrada, datum berbe, itd.). Uspješnost tih odluka u konačnici primarno ovisi o dostupnosti informacija o stanju u nasadu, ali i o drugim čimbenicima agro - okoliša.

2. MATERIJALI I METODE

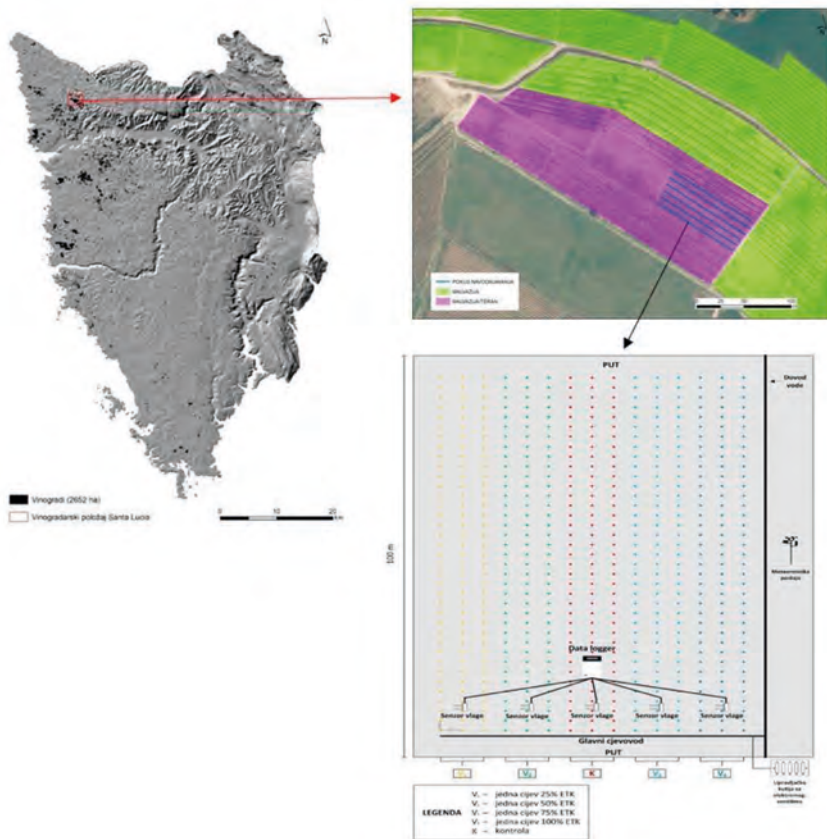
2.1. Dizajn i implementacija pokusa navodnjavanja

Tijekom 2022. godine, na lokaciji Sv. Lucija nedaleko Buja kod proizvođača "Kozlović vina", provodilo se istraživanje o utjecaju različitih varijanti navodnjavanja na sortu Teran, uzgojenu na podlozi SO4 s razmakom sadnje 2,3 m x 0,8 m. Pokus navodnjavanja izveden je koristeći model s cijevima postavljenima na žici, sa integriranim kapaljkama postavljenima u razmacima od 0,4 m. Varijante navodnjavanja razlikovale su se prema količini vode koja se dodavala, temeljene na potencijalnoj potrošnji vode kroz evapotranspiraciju (ET_k), uzimajući u obzir koeficijent navodnjavanja za vinovu lozu. Varijante navodnjavanja obuhvaćale su: 25 % (V1), 50 % (V2), 75 % (V3) i 100 % (V4) potencijalne količine vode koja se može potrošiti kroz evapotranspiraciju, svaka umanjena za količinu padalina u tom razdoblju. Osim toga, postavljena je i kontrolna varijanta (K) bez navodnjavanja. Za varijantu V1 korištene su kapaljke protoka 1 l/h, za V2 - 2 l/h, za V3 - 3 l/h, dok su za V4 varijantu bile postavljene dvije cijevi s kapaljkama od 2 l/h. Površina svake varijante pokusa iznosila je 517,5 m², uključujući tri uzastopna reda vinove loze ukupne duljine 75 m (Slika 1). Na svakoj varijanti pokusa instaliran je po jedan FDR (frequency domain reflectometry) senzor za mjerenje vlage tla u deset minutnoj rezoluciji (TEROS 10 Soil Moisture, Mettergroup), ukupno njih pet. Za potrebe navodnjavanja koristile su se dnevne vrijednosti evapotranspiracije, visine oborina i temperature, dobivene s automatske meteorološke postaje (Pinova d.o.o), postavljene u blizini vinograda. Daljinsko upravljanje sustavom za navodnjavanje obavljalo se pomoću automatskog upravljačkog sustava (Galcon G.S.I), koji je bežično povezan s web aplikacijom za daljinsko upravljanje.

2.2. Mjerenje vodnog potencijala i rodnosti

Potencijal vode u listu vinove loze mjerio se u tri različita vremenska razdoblja: 15. srpnja, 21. srpnja i 18. kolovoza 2022. Za svaku varijantu pokusa, provodila su se mjerenja na tri različita lista u zoru, uređajem za mjerenje stanja vode u listu (Plant water status console, Soilmoisture Equipment Corporation, USA). Rodnost je u pokusnom nasadu utvrđena u vrijeme pune zrelosti kada je obavljena i berba (13. rujna 2022.). Obrano je sve grožđe te je utvrđena masa i broj grozdova za svaki pojedinačni trs. Podaci o rodnosti vinograda

podvrgnuti su analizi varijance (One way - ANOVA) upotrebom SAS statističkog soft-ware-a (SAS Institute, 2007). Opravdanost statističke razlike određena je HSD (Honestly Significant Difference) testom po Tukey-u pri $P \leq 0.05$.



Slika 1. Položaj vinograda Teran na lokaciji Sv. Lucija (okolica Buja) i shematski prikaz postavljenog pokusa navodnjavanja

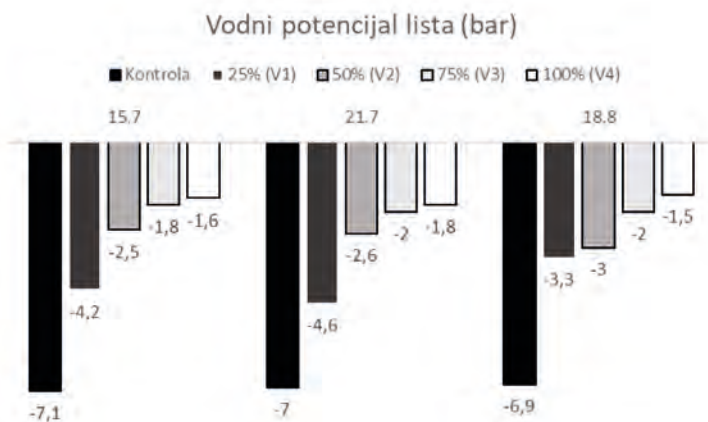
3. REZULTATI

Tijekom vegetacijskog razdoblja 2022. godine navodnjavanje Terana u pokusnom istraživanju počelo je krajem lipnja (20. lipnja) kad je započelo razdoblje toplog i sušnog vremena na ovom području i trajalo je sve do polovice kolovoza (13. kolovoza) kad je nastupilo nekoliko kišnih dana s ozbiljnim količinama padalina, zbog čega je izostala potreba za daljnjim navodnjavanjem. Količine vode dodane navodnjavanjem (mm) prema varijantama pokusa i po ha prikazane su u Tablici 1. Potrošnja vode kretala se od 541 m³/ha za navodnjavanje vinograda do 25 % ET_k (V1) do 2.125 m³/ha za navodnjavanje vinograda do 100 % ET_k (V4).

Tablica 1. Potrošnja vode po varijantama pokusa navodnjavanja Terana na lokaciji Sv. Lucija u 2022. godini

Varijanta pokusa	Potrošnja vode u m ³ po varijanti (517,5 m ²)	Potrošnja vode u m ³ /ha
V1-ET _k 25 %	28	541
V2- ET _k 50 %	55	1.024
V3-ET _k 75 %	83	1.604
V4-ET _k 100 %	110	2.125

Mjerenje vodnog potencijala lista daje nam informaciju o vodnom statusu biljke. Količina tlaka potrebna da bi se istisnula voda na odrezanom dijelu peteljke lista odgovara vodnom potencijalu lista, odnosno količini tenzije kojom list drži vodu. Što je veći tlak koji je potreban da bi se istisnula voda iz lista, biljka se nalazi u većem vodnom stresu. Vodni potencijal lista mjeri se u negativnim barima. Biljke će pri većem vodenom deficitu imati veći vodni potencijal lista ili peteljke nego biljke koje nisu pod stresom, odnosno što je negativniji broj, veća je tenzija u unutrašnjosti lista i veći je vodni stres biljke.



Slika 2. Srednje vrijednosti vodnog potencijala lista mjenog u zoru po varijantama pokusa navodnjavanja u tri termina mjerenja (15. srpnja, 21. srpnja i 18. kolovoza 2022.)

Na temelju prikazanih rezultata vodnog potencijala tijekom tri termina tijekom vegetacije (14. / 15. srpnja 2022., 21. srpnja 2022. i 18. kolovoza 2022.) koji su prikazani na slici 2. jasno je vidljivo kako su varijante navodnjavanja utjecale na vrijednosti sva tri određivana vodna potencijala te je vidljivo kako se smanjenjem obroka navodnjavanja povećava vodni stres na trsovima u pokusu.

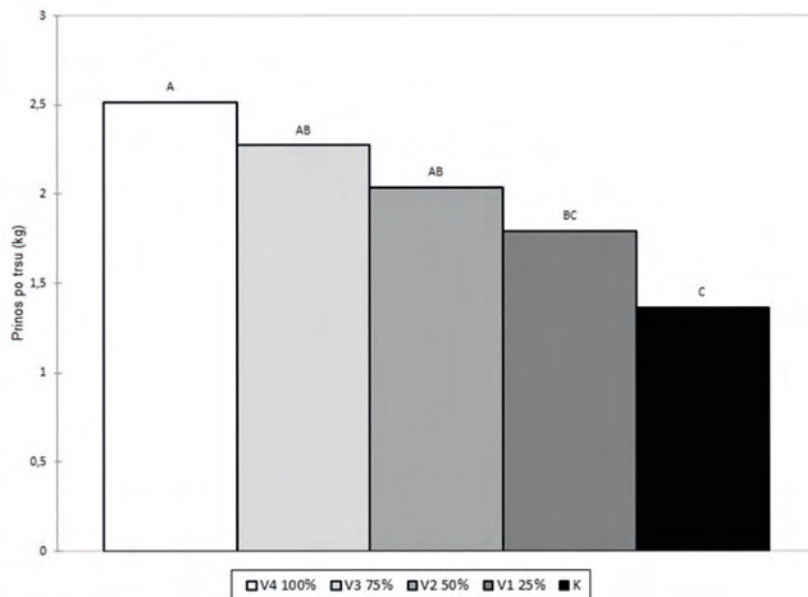
U tom pogledu najizraženije negativne vrijednosti vodnog potencijala imaju trsovi kontrolne varijante (kod kojeg nije provedeno navodnjavanje), koji su veći dio ljeta bili pod utjecajem izraženog stresa od nedostatka vode. Navedeno je u vinogradu bilo vidljivo i

po simptomima na trsu, u pogledu gubitka zelene boje lista, sušenja i opadanja listova te nastankom opekline na bobicama i sušenja bobica na grozdovima (Slika 3). S druge strane, kod V4 varijante s navodnjavanjem od 100 % ET_k , vinova loza izgleda zdravije, grozdovi su veći, zbijeniji i ujednačeniji, što ukazuje na bolju kvalitetu i potencijalno veći prinos. Osim toga rezultati mjerenja vodnog potencijala pokazuju da ova varijanta ima najmanji pad potencijala između termina mjerenja, što ukazuje na kontinuirano održavanje vinove loze bez vodnog stresa. Uzimajući u obzir da je vodni potencijal lista jedan od ključnih pokazatelja stresa zbog nedostatka vode u biljkama, može se zaključiti da pravilno navodnjavanje (prilagođeno potrebama biljaka) može značajno smanjiti vodni stres, što je posebno važno u vinogradarstvu gdje vodni stres može imati izravan utjecaj na kvalitetu i količinu grožđa.



Slika 3. Izgled trsova Terana na lokaciji Sv. Lucija na nenavodnjavanoj (kontrolnoj) varijanti pokusa i V4 varijanti navodnjavanoj do 100 % ET_k . Fotografirano 3. kolovoza 2022.

Slika 4 prikazuje prosječan prinos grožđa po trsu za različite varijante navodnjavanja, koji se kretao od 1,36 do 2,51 kg/trs. Na vertikalnoj osi prikazana je količina prinosa u kilogramima, dok horizontalna os prikazuje varijante navodnjavanja: 100 %, 75 %, 50 %, 25 % i kontrolnu nenavodnjavanu varijantu. Maksimalna varijanta navodnjavanja, V4 - 100 % ET_k , rezultirala je najvećim prinosom. Smanjenje količine vode za navodnjavanje dovelo je do smanjenja prinosa. Statistička značajnost razlika među varijantama označena je slovima iznad svake kolone (A, AB, BC i C) prema Tukey HSD post - hoc testu. Ako kolone dijele isto slovo, nema statistički značajne razlike između njih na razini značajnosti $p < 0,05$. Varijanta V4 ne razlikuje se značajno od varijante V3, ali pokazuje značajne razlike u odnosu na kontrolnu varijantu i V1. Kontrolna varijanta imala je znatno manji prinos od varijanti V2, V3 i V4. Iako postoji trend smanjenja prinosa smanjenjem postotka navodnjavanja, čak i najniža varijanta navodnjavanja (25 %) imala je bolji prinos od kontrolne varijante.



Slika 4. Višestruka usporedba prinosa po trsu u različitim varijantama navodnjavanja Tukey HSD post-hoc testom. Srednje vrijednosti označene različitim slovima signifikantno su različite uz $p < 0,05$

ZAKLJUČAK

Klimatske promjene predstavljaju ozbiljne izazove za poljoprivredni sektor, posebno u mediteranskom području, gdje su vinogradi izloženi povećanim temperaturnim ekstremima i sušnim razdobljima. Iako vinova loza sama po sebi pokazuje otpornost prema suši, fluktuacije u prinosima po trsu i varijacije u vodnom potencijalu lista sugeriraju osjetljivost na vodni stres tijekom ključnih fenofaza. Nedostatak vode može značajno utjecati na kvalitetu i kvantitetu proizvedenog grožđa. Navodnjavanje, kada se njime pravilno upravlja, može biti ključna mjera prilagodbe kako bi se kompenzirali negativni učinci klimatskih promjena, posebno u mediteranskim regijama poput Istre. Rezultati istraživanja iz 2022. godine ističu važnost pažljivog upravljanja navodnjavanjem, s posebnim naglaskom na optimizaciju prinosa i kontrolu vodnog stresa. Integracija lokalnih spoznaja i specifičnosti, poput onih u Istri, te prilagodba tehnika navodnjavanja temeljena na detaljnom praćenju stanja vinove loze, može osigurati održivost i kvalitetu proizvodnje unatoč klimatskim izazovima.

ZAHVALA

Istraživanje prezentirano u okviru ovog rada sufinancirano je projektom „Održivo upravljanje vinorodnim krajobrazima kao dio strateškog teritorijalnog razvoja“, akronim: ECOVINEGOLAS, u sklopu poziva Interreg V-B, Adriatic Ionian.

LITERATURA

- [1] Finco, A.; Bentivoglio, D.; Chiaraluce, G.; Alberi, M.; Chiarelli, E.; Maino, A.; Mantovani, F.; Montuschi, M.; Raptis, K.G.C.; Semenza, F.; (2022.) Combining Precision Viticulture Technologies and Economic Indices to Sustainable Water Use Management. *Water*, 14, 1493. <https://doi.org/10.3390/w1409149>
- [2] Santillan, D., Sotes, V., Iglesias, A. i Garotte, L. 2019. Adapting viticulture to climate change in the Mediterranean region: Evaluations accounting for spatial differences in the producers-climate interactions, *BIO Web of Conferences* 12, 01001 41st World Congress of Vine and Wine, <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191201001>
- [3] Costa J. M., Egipto R., Aguiar F. C., Marques P., Nogales A., Madeira M., 2023., The role of soil temperature in mediterranean vineyards in a climate change context, *Frontiers in Plant Science* 14, <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1145137>
- [4] Trigo - Córdoba, E., Bouzas - Cid, Y., Orriols - Fernández I., Manuel Mirás - Avalos J., (2015.) Effects of deficit irrigation on the performance of grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. 'Godello' and 'Treixadura' in Ribeiro, NW Spain. *Agricultural Water Management*, Volume 161: 20-30, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.07.011>.
- [5] van Leeuwen, C.; Destrac - Irvine, A.; Dubernet, M.; Duchêne, E.; Gowdy, M.; Marguerit, E.; Pieri, P.; Parker, A.; de Rességuier, L.; Ollat, N. An Update on the Impact of Climate Change in Viticulture and Potential Adaptations. *Agronomy* 2019, 9, 514. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090514>
- [5] Romić, D., Karoglan Kontić, J., Preiner, D., Romić M., Lazarević, B., Maletić, E., Ondrašek, G., Andabaka, Ž., Begić, H. & Bubalo Kovačić, M., Filipović, L., Husnjak, S. Marković, Z., Stupić, D., Tomaz, I. i Zovko, M. (2020). Performance of grapevine grown on reclaimed Mediterranean karst land: Appearance and duration of high temperature events and effects of irrigation. *Agricultural Water Management*. 236. 106166. [10.1016/j.agwat.2020.106166](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106166).
- [6] Zovko, M., Žibrat, U., Knapič, M. et al. (2019.) Hyperspectral remote sensing of grapevine drought stress. *Precision Agric* 20, 335–347 <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09640-2>

AUTORI

izv. prof. dr. sc. Monika Zovko ^a

Katrin Bilić, mag. ing. agr ^a

dr. sc. Marijan Bubola ^b

Marko Reljić, mag. ing. agr. ^a

prof. dr. sc. Davor Romić ^c

^a Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, Zagreb, 10000, Hrvatska, mzovko@agr.hr, bilic.katrin97@gmail.com, mreljic@agr.hr

^b Institut za poljoprivredu i turizam u Poreču, Karla Huguesa 8, Poreč, 52440, Hrvatska, marijan@iptpo.hr

^c Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, Zagreb, 10000, Hrvatska, dromic@agr.hr



R 2.21.

PROVEDBA I AKTUALNI IZAZOVI NACIONALNOG PROJEKTA NAVODNJAVANJA I GOSPODARENJA POLJOPRIVREDNIM ZEMLJIŠTEM I VODAMA NA PODRUČJU VGO-a SLIVOVA JUŽNOG JADRANA

Mario Obuljen

SAŽETAK: U radu se opisuju provedba i aktualni izazovi pri realizaciji Nacionalnog projekta navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama (NAPNAV) na slivovima južnog Jadrana. Godine 2005. pokrenut je NAPNAV, kojim se na području Republike Hrvatske omogućuje izgradnja javnih sustava navodnjavanja na pogodnim poljoprivrednim zemljištima sukladno postavljenim ekonomskim kriterijima. Financiranje projekata navodnjavanja provodi se od 2014. iz sredstava fondova Europske unije preko Agencije za plaćanje u poljo-privredi, ribarstvu i ruralnom razvoju (APPRRR). U proteklih 18 godina realizirani su projekti NAPNAV-a na slivovima južnog Jadrana, području koje obuhvaća četiri županije (Zadarsku županiju, Šibensko - kninsku županiju, Splitsko - dalmatinsku županiju i Dubrovačko - neretvansku županiju), i površine poljoprivrednog tla pogodnog za navodnjavanje koje zauzimaju 18 % teritorija (2.140 km²). U ovom radu je prikazana provedba i aktualni izazovi provedbe NAPNAV-a, planirani, sanirani, izgrađeni i projektirani sustavi javnog navodnjavanja te djelovanja kroz izrade regionalnih planova, projektne dokumentacije i kroz izgradnju novih sustava kao i projekata koji su u izradi te nas njihova realizacija očekuje u budućnosti.

KLJUČNE RIJEČI: Južni Jadran, Poljoprivredne površine, Sustavi navodnjavanja, NAPNAV - Nacionalni program navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama

NATIONAL PROGRAMME OF IRRIGATION AND LAND AND WATER MANAGEMENT - IMPLEMENTATION AND CURRENT CHALLENGES IN THE AREA OF THE WMD SOUTHERN ADRIATIC BASINS

ABSTRACT: This paper describes the implementation and current challenges in the realization of the National Project of Irrigation and Management of Agricultural Land and Water (NAPNAV) in the southern Adriatic basins. In 2005, NAPNAV was launched, which enables the construction of public irrigation systems on suitable agricultural lands

in the territory of the Republic of Croatia in accordance with the set economic criteria. Since 2014, irrigation projects have been financed from EU funds through the Agency for Payments in Agriculture, Fisheries and Rural Development. In the past 18 years, the NAPNAV projects have been implemented in southern Adriatic basins, an area covering four counties (Zadar County, Šibenik - Knin County, Split - Dalmatia County and Dubrovnik - Neretva County) with 2,140 km² of agricultural land suitable for irrigation (18 % of its territory). The paper presents the NAPNAV implementation and its current challenges - the planned, restored, constructed and designed public irrigation systems, including the development of regional plans, project documents and the construction of new systems, as well as the projects that are in development and whose implementation is expected in the future.

KEYWORDS: Southern Adriatic, Agricultural land, Irrigation systems, NAPNAV - National Programme of Irrigation and Land and Water Management (NAPNAV)

1. UVOD

Republika Hrvatska kontinuirano se suočava sa problemima stabilne i ekonomski isplative poljoprivredne proizvodnje u uvjetima ciklične izmjene kišnih i sušnih godina. Bez sustavne obnove postojećih i izgradnje novih sustava navodnjavanja nije moguće ostvariti učinkovitu i ekonomski isplativu proizvodnju voća i povrća u Hrvatskoj. Jedan od koraka u ostvarenju ovog cilja bio je izrada i donošenje Nacionalnog projekta navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj - NAPNAV, od strane Vlade Republike Hrvatske. Projekte su izradili hrvatski stručnjaci okupljeni na Agronomskom i Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, u suradnji sa stručnjacima iz drugih hrvatskih institucija i projektantskih tvrtki, te manjim brojem stručnjaka iz Italije. NAPNAV je na osnovu provedenih analiza tala, potencijalnih vodnih resursa i klimatskih čimbenika, a uvažavajući područja i površine na kojima se projekti navodnjavanja neće moći razvijati (deficit vode, minski sumnjiva područja, zaštićena područja, područja I. i II. zone sanitarne zaštite izvorišta vode za piće), utvrdio da vrlo visoku pogodnost za navodnjavanje ima 484.026 ha poljoprivrednih površina. Za potrebe navodnjavanja navedenih površina u vegetacijskom periodu (travanj - rujanj) potrebno je osigurati dostatne količine vode, uz pretpostavku djelomičnog navodnjavanja kultura s 2.000 m³/ha/god. Vodni potencijali Hrvatske višestruko nadmašuju tako definirane potrebe za vodom, te samo njihova vremenska i prostorna disperziranost bitno otežava inženjersku realizaciju budućih projekata navodnjavanja. Upravo navedeno kao i složenost multidisciplinarnost navodnjavanja bitno utječe na način, dinamiku i stupanj uspješnosti realizacije procesa implementacije navodnjavanja u hrvatsku poljoprivredu. Slivovi južnog Jadrana zauzimaju 11.960 km², odnosno 21 % površine Republike Hrvatske, Prostor južnog Jadrana primorski pojas dužine oko 400 km od otoka Paga i rijeke Zrmanje na sjeveru do Konavala na jugu. Upravno - teritorijalno prostor je podijeljen na četiri županije: Zadarsku, Šibensko - kninsku, Splitsko - dalmatinsku i Dubrovačko - neretvansku županiju. Poljoprivredne površine pogodne za navodnjavanje zauzimaju oko 2.140 km² što čini oko 18 % teritorija južnog Jadrana. Najviše poljoprivrednih površina je smješteno u krškim poljima i riječnim dolinama. 2005. godine je pokrenut projekt NAPNAV kojim se na području Republike Hrvatske omogućava izgradnja javnih sus-

tava navodnjavanja na pogodnim poljoprivrednim zemljištima sukladno postavljenim ekonomskim kriterijima. Financiranje projekata navodnjavanja provodi se od 2014. iz sredstava fondova Europske unije preko Agencije za plaćanje u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju (APRRR). Prema podacima Državnog zavoda za statistiku, u 2007. godini (Tablica 1.) procijenjeno je da je od ukupne površine koja se može navodnjavati zaista navodnjavano 31 % dok je u 2016. godini navodnjavana površina povećana na 54 %. Na području slivova južnog Jadrana najviše evidentiranog navodnjavanog zemljišta ima Splitsko - dalmatinska županija (1.370 ha) i Zadarska županija (1.324 ha).

Tablica 1. Površine koje je moguće navodnjavati i navodnjavane površine u Hrvatskoj (Izvor: Novelacija Nacionalnog projekta navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj, 2021.)

U hektarima (ha)	2007.	2010.	2013.	2016.
Ukupna površina koju je moguće navodnjavati	27.360	23.270	25.870	29.680
Ukupno navodnjavana površina najmanje jednom godišnje (isključeni staklenici i plastenici)	8.620	14.480	13.430	16.072

2. IZGRADNJA SUSTAVA NAVODNJAVANJA I PLANOVI NAVODNJAVANJA ŽUPANIJA

Izgradnja sustava javnog navodnjavanja u Dalmaciji uglavnom je vezana za površine pod upravom nekadašnjih poljoprivrednih kombinata koji su prestali djelovati poslije Domovinskog rata. Stručni tim NAPNAV-a je pripremio plan sanacije postojećih sustava navodnjavanja kao i plan izgradnje novih sustava javnog navodnjavanja koji je na području slivova južnog Jadrana obuhvatio sustave SN Donja Baštica, SN Lišansko polje - područje Žažvić, SN Glog te podsustav SN Baštica II. - Smilčić.

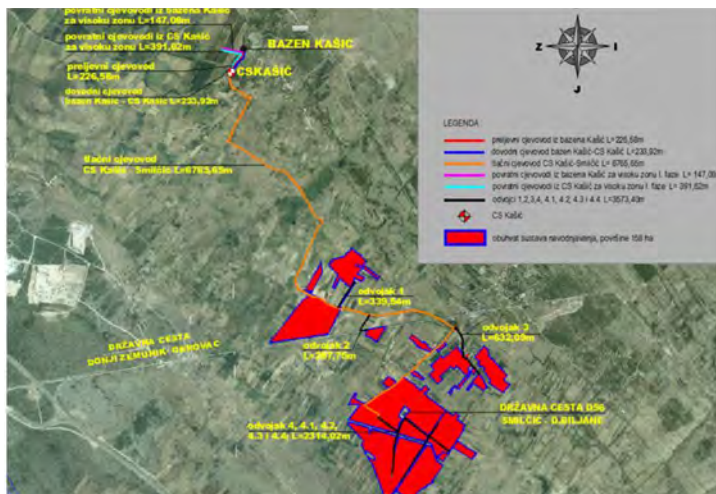
Planovi navodnjavanja županija (PNŽ) su ključni planski dokumenti kojima se definiraju mogućnosti i potrebe za navodnjavanjem poljoprivrednih površina na području određene županije. Općenito, PNŽ definira: prirodne resurse, postojeće stanje, prioritetna područja, definira ciljeve i potrebna sredstva za razvoj navodnjavanja, odnosno daje okvire veličine obuhvata, kao i moguće izgradnje (sociološke, ekonomske i ekološke) novih sustava navodnjavanja.

3. SN BAŠTICA II. - SMILČIĆ

Podsustav Baštica II. faza - Smilčić je dio sustava navodnjavanja Baštica. Podsustav Baštica I. je izgrađen u razdoblju 2008. - 2009. i pušten u redovan rad 2010. kao prvi takav podsustav u republici Hrvatskoj nakon Domovinskog rata. Tijekom 2011. godine izvedeni su radovi na rekonstrukciji bazena Kašić kao ishodišne točke podsustava Baštica II. - Smilčić. Glavni projekt je izradila tvrtka HidroKonzalt projektiranje d.o.o. Solin 2015. godine. Pravomoćna Građevinska dozvola ishoda je 2015. i dopunjena 2016. godine.

3.1 Lokacija projekta

Podsustav Baštica II. – Smilčić smješten je u zaleđu Zadra, na potezu između naselja Donji Kašić i Smilčić. U teritorijalnom smislu područje pripada prostoru Grada Benkovca, odnosno Zadarske županije. Na slici 1. je vidljiva pozicija podsustava Baštica II. - Smilčić.



Slika 1. Pregledna situacija podsustava Baštica II. - Smilčić

3.2 Tehnički opis sustava

Podsustav navodnjavanja Baštica II. - Smilčić predstavlja drugu fazu razvoja sustava navodnjavanja Baštica i sastoji se od:

- otvorenog bazena Kašić zapremine 2.000 m³;
- dovodnog lijevano željeznog gravitacijskog cjevovoda iz bazena Kašić do crpne stanice Kašić promjera 300 mm;
- preljevnog cjevovoda bazena Kašić promjera 300 mm;
- povratnog cjevovoda PEHD DN 110 mm iz bazena Kašić za opskrbu visoke zone podsustava Baštica I.;
- crpne stanice Kašić (CS Kašić) kapaciteta 60 l/s;
- distribucijske mreže za navodnjavanje područja Baštica II. - Smilčić izvedene od lijevano željeznih cijevi promjera 300 mm i PEHD cijevi raznih profila.

Ukupna duljina izvedenih cjevovoda je 11,34 km klase 10 bara. Na tlačnom cjevovodu izvedeno je 38 vodomjernih priključnih okana. Sustav navodnjavanja omogućava navodnjavanje 127,5 ha neto površine.

Akumulacijski bazen Kašić je izgrađen kao otvoreni bazen nepravilnog oblika, maksimalne dubine 4 m, korisne dubine približno 3 m, te ukupnog korisnog volumena 2.000 m³. Kota dna bazena je 191,00 m n.m., kota min. radne razine je 192,00 m n.m., normalna radna razina je 193,60 - 194,60 m n.m. i kota krune betonskog zida je 195,44 m n.m. a krune nasipa 195,00 m n.m. Bazen se puni tlačnim cjevovodom iz CS Vlačine, a koja se napaja vodom iz akumulacije Vlačine.

Za dovod vode do CS Kašić izveden je lijevanoželjezni dovodni cjevovod od bazena Kašić promjera 300 mm i duljine 233,92 m. Na dovodni cjevovod se priključuje tzv. povratni cjevovod promjera 200 mm i duljine 147,08 m koji služi za dovođenje vode za navodnjavanje na područje podsustava Baštica I. u razdoblju smanjenih potreba na sustavu Baštica II. Paralelno sa dovodnim cjevovodom položen je i preljevni cjevovod iz bazena Kašić, kojim se višak vode odvodi u obližnji potok. Kroz ovaj cjevovod promjera 300 mm i duljine 226,58 m omogućeno je potpuno pražnjenje bazena Kašić. U zajednički rov sa ova dva cjevovoda položene je energetski kabel 10(20) kV i zaštitna PEHD cijev DN 63 za signalni kabel.

Crpna stanica Kašić izvedena je oko 200 m južno od bazena Kašić i smještena je uz poljski makadamski put. CS Kašić je tlocrtnih dimenzija 13,10 m x 5,80 m i visine izvan kote uređenog terena 6,75 m i 4,45 m. Podijeljena je na dvije funkcionalne cjeline, strojarnica, te prostor trafoa. U strojarnici je izvedena montaža 3 crpke, posude za kompenzaciju vodnog udara, pripadajuće hidromehaničke i strojarske opreme, upravljačkog elektroormara i ostale elektroopreme. Za omogućavanje fleksibilnog režima rada sukladno trenutnoj potrebi za vodom ugrađene su tri crpke s frekventnim pretvaračima za područje od 0 l/s - 60 l/s. Predviđeno je da radi samo jedna crpka u ovisnosti od potreba za vodom. Crpka 3 (hidrostanica) bi se koristila u periodu manjih potreba za vodom i ona bi zadovoljavala potrebe za vodom od 0 - 15 l/s. Crpka 2 bi se koristila u periodu potreba za vodom od 15 - 30 l/s a Crpka 1 za raspone potrošnje 30 - 60 l/s. Upravljanje radom crpne stanice i podsustava navodnjavanja je potpuno automatizirano i ne zahtjeva stalnu posadu. CS Kašić projektirana je za mogućnost ručnog i automatskog rada bez posade te komunikacijsko povezivanje sa Centrom za daljinski nadzor i upravljanje.

Tlačni cjevovod položen je od CS Kašić do područja navodnjavanja u Smilčiću. Izveden je od daktila promjera 300 mm, duljine 6.765 m. Na tlačni cjevovod priključena su četiri glavna odvojka (O1, O2, O3, O4) koja navodnjavaju grupirane poljoprivredne površine. Odvojci su izvedeni od PEHD cijevi ukupne duljine 3.572 m.. Na tlačni cjevovod uz CS Kašić priključen je i tlačni cjevovod za opskrbu visoke zone podsustava Baštica I. duljine 391 m. Isti je izveden od daktila promjera 200 mm i polietilenskih cijevi (PEHD) DN 110. Izvedeno je 38 okana opremljenih priključcima za korisnike sustava navodnjavanja u kojima se nalaze potrebni fazonski komadi i armature, Woltmannov mjerač protoke te hvatač nečistoće i zaštićenih trodijelnim poklopcem. Podsustav je opremljen opremom za daljinsko očitavanje potrošnje.

3.3 Građenje i troškovi

Ugovor o izgradnji SN Baštica II. - Smilčić je potpisan s tvrtkom BK Montaža d.o.o. Zagreb, a izgradnja je započela u kolovozu 2018. Stručni nadzor je provodila tvrtka H5 d.o.o. Sesvete. Uporabna dozvola je izdana u siječnju 2020. Sustavom upravlja Zadarska županija.

Tablica 2. Ukupni troškovi projekta SN Baštica II. - Smilčić

Podsustav Baštica II. - Smilčić UKUPNI TROŠKOVI	
Studijska i projektna dokumentacija (kn s PDV-om)	845.827,00
Troškovi izgradnje (kn s PDV-om)	15.071.384,00
UKUPNI TROŠKOVI PROJEKTA (kn s PDV-om)	15.917.211,00

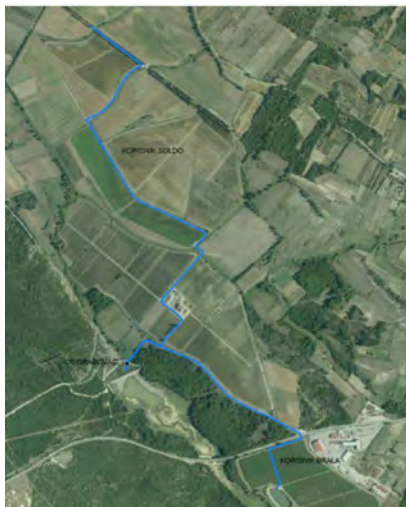
4. SN DONJA BAŠTICA

Na području SN Donja Baštica je početkom 1970-tih godina izgrađen melioracijski sustav odvodnje sa svim potrebnim objektima osnovne i detaljne kanalske mreže. Voda za navodnjavanje osigurana je izgradnjom akumulacije Grabovac ukupnog volumena 200.000 m³.

Glavni projekt je izradila tvrtka Donat d.o.o. iz Zadra 2016. godine. Pravomoćna građevinska dozvola ishoda je u studenom 2018. godine.

4.1 Lokacija projekta

Područje sustava navodnjavanja Donja Baštica ukupne površine oko 110 ha nalazi se u središnjem dijelu sliva vodotoka Baštica, zapadno od autoceste Zagreb - Split. Na području sustava aktivna su dva korisnika, PO Baštica - Soldo i Brala d.o.o. koji se prvenstveno bave uzgojem voća. Predmetno područje presječeno je državnom cestom D8 (Zadar - Poličnik) tako da se sjeverno od ove ceste nalazi veći dio poljoprivrednih površina (oko 96 ha; korisnik PO Baštica - Soldo), a preostalih 14 ha južno od ceste D8 (korisnik Brala d.o.o.). Vodotok Baštica prolazi neposredno uz predmetno područje sa zapadne strane. Akumulacija Grabovac, smještena sjeverno od ceste D8, nastala je pregrađivanjem vodotoka Baštica i predstavlja siguran izvor vode za navodnjavanje.



Slika 2. Pregledna situacija sustava navodnjavanja Donja Baštica

4.2 Tehnički opis sustava

Zahvaćanje vode za potrebe navodnjavanja sustava Donja Baštica vrši se iz postojeće akumulacije Grabovac. Sustav se sastoji od sljedećih građevina:

- spojnog cjevovoda od temeljnog ispusta do crpne stanice Grabovac,
- crpne stanice Grabovac s dva odvojena tlačna podsustava za svakog od korisnika,
- distribucijskog cjevovoda za korisnika Soldu ukupne duljine 3.171,14 m sa 11 priključnih okana,
- distribucijskog cjevovoda za korisnika Bralu ukupne duljine 1.154,43 m,
- elektroenergetskog priključka za napajanje CS Grabovac.

Zahvat vode od temeljnog ispusta na brani Grabovac do CS Grabovac izveden je spajanjem na odvojak lijevanoželjeznim cijevima profila DN 350 mm u duljini od 24 m. Dovodni cjevovod uveden je u CS s južne strane objekta. Nakon ulaska dovodnog cjevovoda u objekt, isti se račva za dva smjera crpljenja.

Crpna stanica Grabovac smještena je nizvodno od brane postojeće akumulacije Grabovac na zasebnoj ograđenoj parceli kojoj se pristupa preko javne prometne površine i ima uređen kolni i pješački pristup. Objekt crpne stanice je armiranobetonski, a u njega se smješta sva potrebna strojarska i elektro oprema. Objekt se sastoji se od podzemnog i nadzemnog dijela. Tlocrtne vanjske dimenzije podzemnog dijela iznose 6,1 x 7,0 m, a tlocrtne vanjske dimenzije nadzemnog dijela iznose 7,0 x 10,6 m. Visina građevine od uređenog terena je 4,2 m, dok je svijetla visina nadzemnog dijela 3,4 m. U podzemnom dijelu se nalazi dovod i razvod vode, blokovi crpki, tlačne posude, dva izlazna cjevovoda i muljni ispust. U nadzemnom dijelu, na podestu, smješteni su upravljački ormar i elektro ormar. U strojarnici je ugrađena oprema za dva smjera dobave (Soldo i Brala) te izvod muljnog ispusta. Na istočnom ogranku cjevovoda DN 200 ugrađeno je kompaktno postrojenje za povišenje tlaka kojim se voda tlači za smjer dobave korisnika Soldo. Crpni blok čine 4 paralelno spojene, vertikalne visokotlačne centrifugalne crpke. Crpke su opremljene pretvaračem frekvencije kojim se omogućava regulacija protoka na izlaznom cjevovodu za područje potrošnje od 2 l/s u minimumu do 60 l/s. Na ovom cjevovodu je izveden tlačni spremnik kapaciteta 1.000 l za zaštitu od vodnog udara i osiguranja mirnog upuštanja crpki u pogon. Na zapadni ogranak profila DN 100 ugrađen je hidrofor kojim se voda tlači za smjer korisnika Brala. Crpni blok čine 2 paralelno spojene vertikalne visokotlačne centrifugalne crpke kapaciteta 10 l/s. Crpke se izmjenjuju u radu na osnovu broja radnih sati. Radna crpka radi u fiksnoj režimu rada (u optimalnoj radnoj točki) jer puni rezervoar na lokaciji Brala bez usputnih mjesta potrošnje. Na ovom cjevovodu ugrađen je tlačni spremnik kapaciteta 600 l za zaštitu od vodnog udara i osiguranja mirnog upuštanja crpke u pogon. Račve muljnog ispusta se spajaju na cjevovod kojim se zamuljene vode odvođe do upojnog bunara izvedenog na platou. Oko platoa objekta podignuta je ograda s vratima. Plato oko objekta dijelom je popločan prefabriciranim betonskim elementima a izvedeno je i hortikulturno uređuje. Građevina nije namijenjena za boravak stalne posada, rad i upravljanje je automatizirano.

Okno mjerača protoka smješteno je izvan objekta crpne stanice, na trasi cjevovoda. Okno je opremljeno sa dva vodomjera s Woltmann turbinom s bakar kapsuliranim brojiлом. Za smjer Soldo ugrađen je mjerač DN 150 mm, za smjer Brala DN 80 mm.

Distribucijski cjevovod za korisnika Soldu izvodi se od lijevanoželjeznih promjera

300 mm i 250 mm, te PEHD cijevi promjera DN 200 mm i DN 160 mm. Trasa cjevovoda je vođena uz rub postojećeg makadamskog puta. Cjevovod je izveden u pravcu ukupne dužine 3.171,14 m s predviđenih 11 priključnih mjesta (okana) na kojima korisnik može priključiti svoju opremu za lokalno navodnjavanje. Prolaz cjevovoda ispod kanala odvodnje posebno je zaštićen betonskom oblogom. Predviđeno je da se cjevovod isprazni u razdoblju kada se ne vrši navodnjavanje (početak listopada) dok početkom sezone navodnjavanja, očekivano u travnju, cjevovod treba isprati prije puštanja u pogon.

Distribucijski cjevovod za korisnika Bralu izvodi se od PEHD cijevi nazivnog promjera DN 160 mm. Trase je vođena uz rub postojećeg makadamskog puta. Prolaz cjevovoda ispod državne ceste D8 izveden je metodom bušenja, a cijev je štićena posebnom oblogom te su izvedena se okna s obje strane ceste. Cjevovod je izveden u pravcu ukupne dužine 1.154,43 m. Na završetku cjevovoda izvedena je ispusna građevina iz koje se voda ispušta u postojeću mini akumulaciju Brala, odakle korisnik distribuira vodu svojom postojećim instalacijom. Predviđeno je da se cjevovod isprazni u razdoblju kada se ne vrši navodnjavanje (početak listopada) dok početkom sezone navodnjavanja, očekivano u travnju, cjevovod treba isprati prije puštanja u pogon.

4.3 Građenje i troškovi

Ugovor o izgradnji sustava navodnjavanja Donja Baštica je potpisan u studenom 2020. godine s tvrtkom BK Montaža d.o.o. iz Zagreba a izgradnja je započela u prosincu 2020. godine. Nadzor na gradilištu je provodila tvrtka H5 d.o.o. Sesvete. Uporabna dozvola je izdana u svibnju 2022. Sustavom upravlja Zadarska županija.

Tablica 3. Ukupni troškovi projekta SN Donja Baštica

SN Donja Baštica UKUPNI TROŠKOVI	
Studijska i projektna dokumentacija (kn s PDV-om)	1.287.125,00
Troškovi izgradnje (kn s PDV-om)	12.697.997,00
UKUPNI TROŠKOVI PROJEKTA (kn s PDV-om)	13.985.122,00

5. SN LIŠANSKO POLJE - PODRUČJE ŽAŽVIĆ

Sustav navodnjavanja Lišanskog polja - područje Žažvić u naravi predstavlja područje predratne poljoprivredne proizvodnje bivšeg PIK Vrana. Danas se na tom području ne vrši organizirana poljoprivredna proizvodnja (u smislu okrupnjenosti) već se isto područje koristi od strane privatnih vlasnika ili koncesionara. Izgradnjom sustava navodnjavanja namjerava se područje kroz organiziranu i okrupnjenu proizvodnju privesti svrsi i postići ekonomski održiva poljoprivredna proizvodnja

Pravomoćna građevinska dozvola ishoda je u listopadu 2016. godine na glavni projekt koji je izradila tvrtka „Grad invest“ d.o.o. Split

5.1 Lokacija projekta

Lišansko polje je dio prostranog Kožlovačko - Morpolačkog polja koje se proteže između Benkovca, na sjeverozapadu, te Morpolače i Žažvića na jugoistoku u dužini od oko 15 km,

ukupne površine oko 3.090 ha. Poljoprivredni kompleks Žažvić predstavlja uređeni dio Lišanskog polja površine 250 hektara. Kompleks je zaštićen od poplavnih voda, a sustav odvodnje čine uređene bujice, kanalska mreža i nasipi za zaštitu od vanjskih voda, kao i kanali za detaljnu odvodnju unutar poljoprivrednog kompleksa. Kroz poljoprivredni kompleks Žažvić prolazi korito bujice Duboka draga.



Slika 3. Pregledna situacija sustava navodnjavanja Lišane – područje Žažvić

5.2 Tehnički opis sustava

Javni sustav navodnjavanja Lišansko polje - područje Žažvić sastoji od sljedećih građevina (Slika 3.):

- bušotina /okana za zahvat vode B1 i B2, svaki projektiranog kapaciteta 20 l/s;
- tlačnih PEHD cjevovoda profila 200 mm i 250 mm približne duljine 2,4 km klase 10 bara koji dovode zahvaćenu vodu otvorene zemljane akumulacije, elektroenergetskih kabela potrebnih za napajanje bušotina B1 i B2 (u istom rovu) te optičkih kabela;
- otvorene zemljane akumulacije zapremine 80.000 m³ koja služi za godišnje izravnavanje potreba za vodom na području navodnjavanja;
- crpne stanice Akumulacija (CS Akumulacija) kapaciteta 90 l/s koja tlači vodu u distributivnu mrežu (režim rada crpki 3 + 1 u rezervi);
- elektroenergetskog priključka i trafostanice Akumulacije (TS Akumulacija), iz koje se napaja CS „Akumulacija“;
- tlačne distributivne PEHD mreže koja vrši opskrbu vodom po parcelama DN 225 mm, 160 mm i 110 mm, ukupne duljine oko 7,4 km klase 10 bara;
- 41 opskrbnog okna sa hidrantskim priključkom;
- rekonstrukcije ulaza pristupnog puta na županijsku cestu.

Iz izvedenih vodozahvatnih bušotina B1 i B2 dubine 70 m voda se dobavlja tlačnim cjevovodima u akumulaciju. Duljina tlačnih cjevovoda je ukupno 2.638 m a izvedeni su od PEHD cijevi DN 200 mm klase 10 bara. U isti rov ugrađen je napojni elektro - kabel od TS Akumulacija do bušotine B1 dok se bušotina B2 napaja iz distribucijske niskonaponske mreže. Od CS Akumulacija u isti rov s cjevovodima se polažu i optički kablovi namijenjeni daljinskom upravljanju crpkama u bušotinama. Svaka crpka ima kapacitet od 20 l/s i visinu dizanja oko 90 m. U oknima B1 i B2 je ugrađen mjerač protoka i potrebne armature.

Za osiguranje dovoljnih količina vode za navodnjavanje izgrađena je otvorena zemljana akumulacija (Slika 4.) u centralnom dijelu kompleksa Žažvić korisne zapremine 80.000 m³. Formirana je dijelom u iskopu dubine oko 4 m, a dijelom u nasipu visine oko 4 m. Vodonepropusnost se postigla ugradnjom nepropusne UV stabilne geomembrane učvršćene gabionskim madracima. Kota krune nasipa izvedena je na 105 m n.m., a kota dna na 97 m n.m. Na koti 104 m n.m. izveden je cijevni incidentni preljev koji evakuira višak voda u slučaju intenzivnih padalina u trenutku maksimalne radne kote u akumulaciji. Uz jugozapadnu stranu nasipa smješteni su objekti TS Akumulacija i CS Akumulacija. Zahvat vode do CS vrši se dovodnim PEHD cjevovodom DN 400 mm. Usisni cjevovod na uzvodnom kraju ulazi u betonsku kadu ukopanu u dno akumulacije na koti 95,4 m n.m..



Slika 4. Akumulacija SN Lišansko polje

Za distribuciju vode prema potrošačima izvedena je CS Akumulacija smještena u djelomično ukopani armirano betonski objekt smješten uz jugozapadni nasip akumulacije. Crpno postrojenje izvedeno je s 4 vertikalne visokotlačne crpke s automatskim načinom rada (režim rada 3+1 u rezervi) kapaciteta pojedine crpke 30 l/s. Ukupni kapacitet crpnog postrojenja je 90 l/s + 30 l/s u rezervi, što omogućava pokrivanje ljetnog maksimuma. Uz crpni blok smještena je i membranska tlačna posuda zapremine 2000 l koja štiti postrojenje od pojave vodnog udara te da vrši opskrbu vodom u razdoblju minimalne potrošnje (od 0 do 5 l/s). Tlačni lijevano željezni cjevovod profila 250 mm izveden je iz crpne stanice. Nakon izlaska tlačnog cjevovoda na razinu platoa izvedeno je AB okno spoja na distribucijsku mrežu u koje se smješta i mjerač protoka. Objekt crpne stanice izveden je na dva nivoa: strojarnice gdje je smješteno crpno postrojenje i tlačna posuda za zaštitu sustava s pratećom opremom te gornjeg nivoa na koji se dolazi ukopanim stubištem a koristi se za smještaj priručne opreme. Elektro energetski priključak CS Akumulacija predviđen je iz TS Akumulacija koja je izvedena uz samu crpnu stanicu.

Nije predviđen stalni boravak posade.

Mreža distribucijskog cjevovoda je izvedena od PEHD cijevi DN 225 mm, 160 mm i 110 mm klase 10 bara, u obliku prstenastog sustava u središnjem dijelu s nekoliko ogranaka prema vanjskom području navodnjavanja, ukupne dužine 7.334,9 m. Na distribucijskim cjevovodima postavljeni su PEHD priključci Ø90 mm na koje se spajaju opskrba okna. Izvedeno je ukupno 41 okno opremljeno mjeracem protoka i s izvršenom pripremom za ugradnju sustava daljinskog nadzora i upravljanja i opremljeno trodijelnim poklopcem.

Neposredno uz akumulaciju izvedena je TS Akumulacija. Unutrašnjost transformatorske stanice čine četiri prostorije i to prostorija za smještaj transformatora, prostorija za smještaj HEP-ovog dijela srednjenaponskog postrojenja, prostorija za smještaj srednjenaponskog i niskonaponskog postrojenja trafostanice u ingerenciji investitora (Zadarska županija) te prostorija za smještaj upravljačkih ormara crpnog postrojenja vodozahvatnih bušotine B1 i B2 te upravljačkih ormara CS Akumulacija, sve sa zasebnim ulaznim vratima.

Pražnjenje distribucijske mreže i prostora akumulacije vrši se na kraju sezona navodnjavanja, očekivano početkom listopada. Na taj način se sprječava smrzavanja vode u dijelovima sustava zimi. Početkom sezone navodnjavanja, očekivano u travnju, cjevovod se ispire i dezinficira.

5.3 Građenje i troškovi

Ugovor o izgradnji sustava navodnjavanja Lišansko polje je potpisan u kolovozu 2018. godine s zajednicom izvođača BK Montaža d.o.o. Zagreb i MIAB d.o.o. iz Šibenika. Izgradnja je započela u rujnu 2018. Nadzor na gradilištu je provodila tvrtka H5 d.o.o. iz Sesveta. Uporabna dozvola je izdana u travnju 2021. Sustavom upravlja Zadarska županija.

Tablica 4. Ukupni troškovi projekta SN Lišansko polje

SN Lišansko polje - Žažvić UKUPNI TROŠKOVI	
Studijska i projektna dokumentacija (kn s PDV-om)	2.516.235,00
Troškovi izgradnje (kn s PDV-om)	25.611.451,00
UKUPNI TROŠKOVI PROJEKTA (kn s PDV-om)	28.127.686,00

6. SN GLOG

Sredinom 70-tih godina prošlog stoljeća, započela je izgradnja sustava za navodnjavanje Glog a sastojao se od crpne stanice uz Malu Neretvu, dalekovoda, trafostanice, opskrbe cjevovodne mreže duljine 19 km te opreme za zalijevanje velikog kapaciteta. Na Glogu je ovaj sustav radio s određenim poteškoćama do 1985. god. kada je hladna zima uništila većinu trajnih nasada. Sustav je prestao s radom početkom 90-tih godina prošlog stoljeća i u međuvremenu je devastiran. U okviru NAPNAV-a donesena je odluka za izgradnjom novog postrojenja - pilot projekta navodnjavanja Glog (SN Glog) i to na istom području, na kojem je u međuvremenu obnovljena poljoprivredna proizvodnja prvenstveno manjarine.

6.1 Lokacija projekta

Područje SN Glog se nalazi u lijevom zaobalju Neretve, između obrambenog nasipa na desnoj obali Male Neretve i rukavca Crepina. Pripada širem melioracijskom području Opuzen - Ušće.



Slika 5. Pregledna situacija SN Glog

6.2 Tehnički opis sustava

SN Glog sastoji se od (Slika 5.):

- crpne stanice Glog smještene na desnoj obali rijeke Male Neretve kapaciteta 242 l/s s pripadnom strojarskom i elektro opremom i priključkom na elektroenergetski sustav,
- rekonstruiranog postojećeg makadamskog puta do CS Glog,
- dovodnog cjevovoda od poliesterskih cijevi profila 400 mm, 500 mm i 900 mm ukupne duljine 3,7 km,
- distribucijskih PEHD cjevovoda profila 90 mm, 110 mm, 125 mm, 200 mm ukupne duljine 15,5 km,
- 188 priključnih okana.

Projektom SN Glog omogućeno je navodnjavanje neto površine od 310 ha za koje je potrebno osigurati oko 242 l/s vode. Nova crpna stanica Glog (Slika 6.) smještena je neposredno uz postojeću napuštenu CS Glog te je predviđena kao privremena građevina za potrebe pilot projekta. Crpna stanica izvedena je uz postojeći zahvatni bazen koji je djelomično proširen. Dovod vode do crpne stanice vrši se postojećim dovodnim kanalom kojemu su obnovljeni pokosi i izvršena zaštita dna i pokosa kanala lomljenim kamenom. Postojeći zahvatni AB bazen crpne stanice je rekonstruiran i dograđen na način da je izveden novi završni vijenac na postojećoj konstrukciji te je rekonstruiran dio ulaznog portala preko kojega se vrši dovod vode iz dovodnog kanala. Unutar zahvatnog bazena crpne

stanice postavljene su tri potopne crpke. Ugrađena je frekvencijska regulacija svih crpki na način da se dvije manje crpke izmjenjuju kao vodeće za protoke 0 - 90 l/s, dok se kod veće potrošnje (iznad 90 l/s) u pogon upušta veća crpka od 190 l/s pri čemu se kapacitet vodeće smanjuje sukladno ubrzanju prateće crpke. Upravljanje crpnom stanicom te kontrola njezina rada obavlja se pomoću opreme za automatski i manualni rad te alarmnog sustava. Crpna stanica je opremljena elektromagnetskim mjerjačem protoka, a na platou crpne stanice postavljena je tlačna posuda zapremine 2500 l te dizalica za manipulaciju crpkama. Svi cjevovodi i fazonski komadi unutar crpne stanice su dimenzionirani za nazivni tlak od 16 bara.

Uz rub priključnog puta te duž ceste Opuzen - Blace položen je dovodni cjevovoda od poliesterskih cijevi profila 400 mm, 500 mm i 900 mm ukupne duljine 3,7 km. Sa dovodnog cjevovoda razvedena je distribucijska mreža koja se sastoji od PEHD cijevi DN 90 mm, DN 110 mm, DN 125 mm, DN 200 mm ukupne duljine 15,5 km, klase 10 bara. Elektroenergetski priključak je osiguran u obližnjoj trafo - stanici od koje je položen napojni kabel rubom pristupnog makadamskog puta do crpne stanice.

Na sustavu je izvedeno 188 priključaka za korisnike sustava koji su raspoređeni približno na svakih 80 metara. Osnovna funkcija priključaka je opskrba vodom parcela, a sekundarna funkcija je mogućnost ispiranja pojedinih dionica pod tlakom. Okna priključaka su izvedena u betonskoj cijevi promjera 120 cm, izdignutoj 80 cm iznad tla radi pristupačnosti i bolje zaštite od mogućih oštećenja poljoprivrednom mehanizacijom. Opremljena su mjerjačem protoke i hidrantskim priključkom te zaštićena poklopcem.



Slika 7. Crpna stanica i zahvatni bazen SN Glog

6.3 Građenje i troškovi

Ugovor o izgradnji sustava navodnjavanja Glog je potpisan u kolovozu 2018. godine s zajednicom izvođača Vodotehnika d.d. Zagreb i Katić Bau d.o.o. Lovreč. Stručni nadzor je provodila tvrtka Sedra Consulting d.o.o. Zagreb. Uporabna dozvola je izdana u prosincu 2021. Sustavom upravlja Dubrovačko - neretvanska županija.

Tablica 5. Ukupni troškovi projekta SN Glog

SN Glog UKUPNI TROŠKOVI	
Studijska i projektna dokumentacija (kn s PDV-om)	3.027.436,00
Troškovi izgradnje (kn s PDV-om)	24.314.863,00
UKUPNI TROŠKOVI PROJEKTA (kn s PDV-om)	27.342.299,00

ZAKLJUČAK

Podaci Državnog zavoda za statistiku pokazuju da je u razdoblju od 2003. do 2016. došlo do povećanja površina zemljišta koje se može navodnjavati i onih koje se navodnjavaju u Republici Hrvatskoj. Od donošenja NAPNAV-a 2005. godine pa do 2020. izgrađeni su novi javni sustavi za navodnjavanje te sanirani neki od postojećih. Na području slivova južnog Jadrana u razdoblju od 2005. - 2021. izgrađeno je šest novih sustava za navodnjavanje na ukupno 1.232 ha (šesti je zadnji izgrađen - SN Donje polje - Jadrtovac). U budućnosti se očekuje da će se priprema studijske i projektne dokumentacije nastaviti financirati iz nacionalnih sredstava a izgradnja sustava iz zajedničkih namjenskih sredstava EU.

Generalno, na slivovima južnog Jadrana ne mogu se realizirati sustavi javnog navodnjavanja bez akumuliranja vode. Vodu je spremno spremiti, akumulirati u zimsko - proljetnom razdoblju kada je ima dovoljno, kako bi se ljeti mogla koristiti. Potrebno je naglasiti da je u ljetnom razdoblju izdašnost izvora najmanja, a u isto vrijeme potrebe za pitkom vodom najveća. Poljoprivredni potrošači se stoga moraju pripremiti na vrijeme, odnosno u predsezoni osigurati dovoljne količine vode u akumulacijama, retencijama i slično. Mogućnost korištenja viškova vode iz vodoopskrbnih sustava treba uskladiti s komunalnim društvima, odnosno koncesionarima, i to na način da voda za navodnjavanje bude ekonomski prihvatljiva. Klimatske prilike su vrlo povoljne, te bi se uz osiguranje vode mogla postići povećana i stabilna poljoprivredna proizvodnja, kako za domaće tržište tako i za izvoz.

Na priobalnom i otočnom području slivova južnog Jadrana izdašnost podzemlja nije zanemariva i tu postoje velike rezerve voda koje bi se mogle koristiti za navodnjavanje. Krško podzemlje bi se moglo slikovito prikazati kao jedna velika nedovoljno istražena i neiskorištena akumulacija vode.

Na Mediteranu se koriste i suvremena tehnička rješenja - desalinizacija i reciklaža otpadnih voda za navodnjavanje. Iako se ova rješenja smatraju skupljim u odnosu na klasične načine skupljanja voda, nesumnjivo imaju svoju ekonomsku opravdanost.

S obzirom da se današnja poljoprivredna proizvodnja na području slivova južnog Jadrana odvija na usitnjenim parcelama, na kojima nije moguće realizirati ekonomične suvremene sustave javnog navodnjavanja, u svim projektnim dokumentacijama sustava, a u skladu s Planovima navodnjavanja, sugerira se okrupnjavanje poljoprivrednog zemljišta. Komasaacija poljoprivrednog zemljišta je najbolje rješenje, ali bi s obzirom na veliku usitnjenost parcela i složene imovinsko - pravne odnose na području slivova južnog Jadrana bila dugotrajna i vrlo komplicirana. Alternativa je interesno udruživanje na način da se

formiraju proizvodne cjeline (table) unutar sustava navodnjavanja poštujući postojeću putnu i kanalsku mrežu, na kojima će se znati udio pojedinog korisnika. Za svaki sustav navodnjavanja krajnji korisnici trebaju biti organizirani u „udrugu“ ili „zadrugu“ kroz koju bi se rješavala organizacijska, proizvodnja i sva druga pitanja, a sve u skladu s važećim zakonima Republike Hrvatske.

Sve navedene činjenice potvrđuju kako su sva dosadašnja ulaganja u sustave javnog navodnjavanja, opravdala sva očekivanja, te potvrdila ispravnost budućih ulaganja u cilju stvaranja pretpostavki za inteziviranje i restrukturiranje poljoprivredne proizvodnje, a što ima za posljedicu kako povećanje dohotka, tako i otvaranje novih radnih mjesta.

Provedba NAPNAV-a predstavlja izazov za sadašnje i buduće generacije stručnjaka a sve u svrhu općeg dobra.

LITERATURA

- [1] Romić, D. i dr. (2007): *Plan navodnjavanja za područje Zadarske županije*, Agronomski fakultet Zagreb i Građevinsko - arhitektonski fakultet Split, Zagreb i Split, 244
- [2] Romić, D. i dr. (2006): *Plan navodnjavanja za područje Dubrovačko-neretvanske županije*, Agronomski fakultet Zagreb i Građevinsko - arhitektonski fakultet Split, Zagreb i Split, 197
- [3] Romić, D. i dr. (2021.): *Novelacija Nacionalnog projekta navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj*, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Centar građevinskog fakulteta d.o.o.

AUTOR

Mario Obuljen, mag. ing. aedif.^a

^a Hrvatske vode, VGO Split, Vukovarska 35, 21000 Split, Hrvatska, mario.obuljen@voda.hr



R 2.22.

ANALIZA MOGUĆNOSTI NAVODNJAVANJA ZADARSKOG ZALEĐA KORIŠTENJEM VODE IZ HIDROTEHNIČKIH SUSTAVA NA SLIVU RIJEKE ZRMANJE I LIČKOM PLATOU

Enes Obarčanin, Ana Jelka Graf

SAŽETAK: Analizom je obuhvaćeno 17.561 ha poljoprivrednih površina na području Zadarske županije, koje su podijeljene u 13 funkcionalnih cjelina. Potrebne količine vode za navodnjavanje predmetnih površina u sušnoj godini iznose 46,5 milijuna m³. U tom obimu, na ovom prostoru, su kao mogući izvori identificirani slivovi Ličkog platoa i sliv rijeke Zrmanje. Pri bilanciranju raspoloživih količina vode uvaženi su zahtjevi svih „korisnika“ u slivu i to prema prioritetima, ekološki, vodoopskrbni, energetske i navodnjavanje.

Analiza mogućnosti zahvaćanja vode za navodnjavanje na slivu rijeke Zrmanje je usmjerena na lokacije planiranih višenamjenskih hidrotehničkih sustava HE Ervenik i HE Zrmanja. Pregradni profil HE Žegar je izostavljen u ovoj analizi zbog značajnih gubitaka vode koji se javljaju na uzvodnoj dionici. Proizvodni potencijal HE Ervenik u prosječnoj godini iznosi 41 GWh, a na HE Zrmanja 28 GWh. Budući da je pregradni profil HE Ervenik pozicioniran najuzvodnije te je visinski povoljniji u odnosu na navodnjavane površine, a za što je, iskazano kroz utrošak energije u prosječnoj godini, potrebno oko 25 GWh, a to je 17 GWh manje u odnosu na vlastitu proizvodnju. Pregradni profil HE Zrmanja je visinski nepovoljniji u odnosu na navodnjavane površine, jer je za dobavu istih količina vode potrebno utrošiti 38 GWh električne energije što premašuje njenu prosječnu godišnju proizvodnju za 10 GWh. Sveukupni investicijski troškovi prve opcije iznosili bi 5,6 milijardi kuna, a operativni i pogonski troškovi 1,75 kn/m³ distribuirane vode za navodnjavanje. Dok bi investicija u drugu opciju bila niža, odnosno 5,1 milijardi kuna, ali s višim operativnim i pogonskim troškovima od 2,08 kn/m³ distribuirane vode. Za vode sliva Ličkog platoa se može konstatirati da su većim dijelom već i danas iskorištene u sustavu RHE Velebit, a mogućnost korištenja preostalog vodnog potencijala je ograničena kako u pogledu njena akumuliranja tako i transfera do površina za navodnjavanje. Jedina moguća opcija korištenja voda s Ličkog platoa bi bila zahvaćanje prethodno korištene vode u RHE Velebit, odnosno iz akumulacije Razovac. Zahvat vode iz akumulacije Razovac visinski približno odgovara zahvatu na HE Zrmanja stoga im je prosječni godišnji zahtjev za energijom identičan i iznosi oko 38 GWh. Sveukupni investicijski troškovi ove opcije su najniži i iznose 4,9 milijardi kuna, međutim, zbog

nemogućnosti pokrivanja pogona iz vlastite proizvodnje, operativni i pogonski troškovi su izuzetno visoki i iznose 2,91 kn/m³ distribuirane vode.

Usporedbom sveukupnih troškova ovih opcija u razdoblju od 50 godina, zahvat vode na pregradnom profilu HE Zrmanja se pokazao kao optimalna opcija kojom se osigurava navodnjavanje značajnog dijela poljoprivrednih površina Zadarske županije.

KLJUČNE RIJEČI: Zadarska županija, Rijeka Zrmanja, Lički plato, Višenamjenski hidrotehnički sustav, Navodnjavanje

ANALYSIS OF IRRIGATION POTENTIALS FOR THE ZADAR HINTERLAND FROM HYDROTECHNICAL SYSTEMS OF THE ZRMANJA BASIN AND LIKA PLATEAU

ABSTRACT: The analysis covers 17,561 ha of agricultural land in the Zadar County divided into 13 functional units. The required water quantity for irrigating this area in a drought year is 46.5 million m³. For this scope, within this area, the Lika Plateau and the Zrmanja basin were identified as potential sources. When balancing the available water quantities, we considered the demands of all “users” in the basin according to the following priorities: ecology, water supply, energy and irrigation.

The analysis of potential water abstraction for irrigation purposes in the Zrmanja river basin is focused on the locations of the planned multipurpose hydrotechnical systems - the Ervenik and Zrmanja hydroelectric power plants (HPPs). The Žegar HPP dam profile has been omitted from this analysis due to significant water losses occurring in the upstream section. The production potentials of the Ervenik HPP and Zrmanja HPP in an average year amount to 41 GWh and 28 GWh, respectively. The Ervenik HPP dam profile is located the farthest upstream and its elevation is more favourable in view of irrigation areas. Expressed as energy consumption in an average year, about 25 GWh would be required, which is GWh less than its own production. On the other hand, the elevation of the Zrmanja HPP dam profile is less favourable in view of irrigating areas. In order to supply the same amount of water, the consumption of 38 GWh of electrical energy would be required, which exceeds its average annual production by 10 GWh. The overall investment cost for the first option would be HRK 5,6 billion, with business and operational costs of HRK 1,75 /m³ of distributed irrigation water. The investment for the second option would be lower, approximately HRK 5,1 billion, but would have higher business and operational costs of HRK 2,08/ m³ of distributed water.

The major part of waters in the Lika Plateau basin is already utilised in the system of the Velebit RHPP. The use of the remaining water potential is limited, both in terms of its accumulation and in terms of its transfer to the irrigation areas. The only possible option to use waters from the Lika Plateau would be to extract the previously utilized water in the Velebit RHPP, i.e. from the Razovac reservoir. Water abstraction from the Razovac reservoir, which is at a similar elevation as the Zrmanja HPP, means that their average annual energy demand is identical, amounting to about 38 GWh. The overall investment cost of this option is the lowest, amounting to HRK 4,9 billion. However, due to its inability to cover operational costs of its own production, its business and operational costs are extremely high, i.e. HRK 2,91/m³ of distributed water.

The comparison of the overall costs of these options in a 50 - year period has shown that water abstraction at the Zrmanja HE dam profile is the optimal option that ensures the irrigation for a significant portion of agricultural land in the Zadar County.

KEYWORDS: Zadar County, Zrmanja River, Lika Plateau, Multipurpose hydrotechnical system, Irrigation

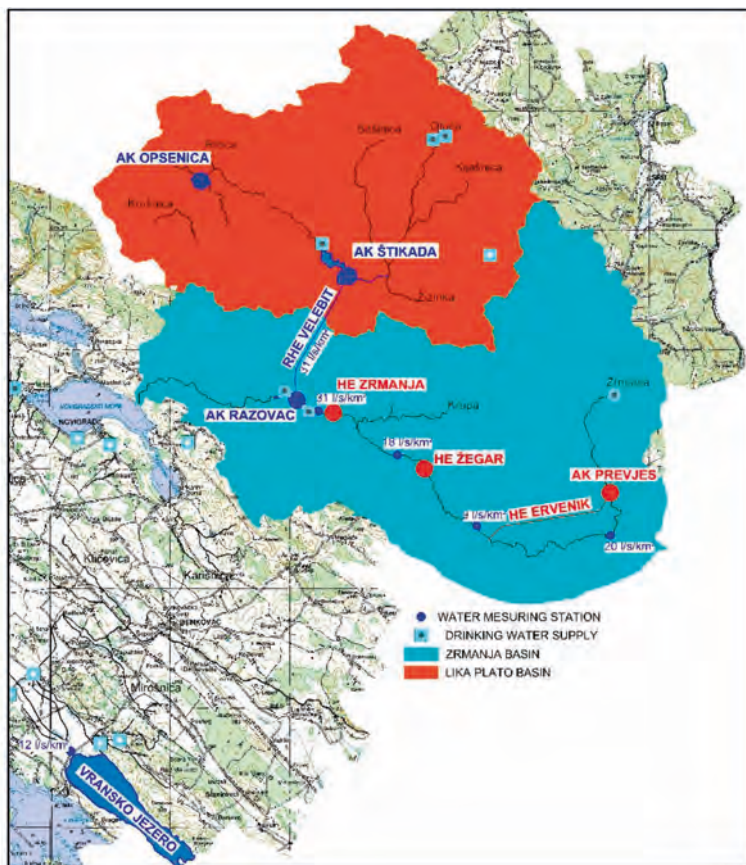
1. UVOD

Na području Zadarske županije identificirano je ukupno 17.561 ha poljoprivrednih površina pogodnih za navodnjavanje, a bez osiguranog stabilnog izvora vode. Cilj je bio istražiti mogućnosti dobave većih količina vode iz otvorenih vodotoka za potrebe navodnjavanja predmetnih poljoprivrednih površina. Ovim radom su obuhvaćeni samo otvoreni vodotoci i akumulacije koji raspolažu značajnim količinama vode, a to su slivovi Zrmanje i Ličkog platoa.

Glavna tekućica na području Zadarske županije je rijeka Zrmanja sa svojim pritokama. Površina sliva Zrmanje iznosi 1.452 km², od čega na izravni sliv otpada oko 955 km². Hidrotehnički zahvat koji je 1984. godine trajno izmijenio hidrografsku sliku rijeke Zrmanje gradnja je reverzibilne hidroelektrane Velebit (RHE Velebit). Vodotoci Ličkog platoa koji su se u prirodnom stanju gubili u ponorima duž južnog ruba Štikadskog i Gračačkog polja i izvicali uz obale rijeke Zrmanje u njezinu donjem toku izgradnjom RHE Velebit sprovedeni su u dva akumulacijska jezera gornjeg horizonta, Štikada (13,65 hm³) i Opsenica (2,7 hm³), dok je na donjem horizontu, na Zrmanji, izgrađena akumulacija Razovac (1,84 hm³) koja služi za prihvatanje vode koja se crpi na gornji horizont.

Prema studiji „Višenamjenski hidrotehnički sustav na rijeci Zrmanji“, (Elektroprojekt d.d., 2001), na rijeci Zrmanji planirana su tri višenamjenska hidrotehnička zahvata: HE Ervenik, HE Žegar i HE Zrmanja. Raspoložive količine vode u slivu rijeke Zrmanje moguće je zahvatiti na lokacijama planiranih hidroelektrana: HE Ervenik s pripadajućom akumulacijom Prevjės nizvodno od hidrološke postaje Palanka i na lokaciji planirane HE Zrmanja s pripadajućom istoimenom akumulacijom uzvodno od hidrološke postaje Berberov buk. Zbog velikih gubitaka u slivu Zrmanje koji je javljaju na potezu od hidrološke postaje Prevjės do hidrološke postaje Ervenik značajno je smanjen dotok u pregradni profil HE Žegar. Stoga će biti uzete u obzir samo lokacije HE Ervenik i HE Zrmanja.

Analizama u ovom radu razmatrane su tri lokacije zahvaćanja vode za navodnjavanje (planirane HE Ervenik i HE Zrmanja, te postojeća RHE Velebit), kako bi se došlo do optimalnog tehničkog rješenja, varijante su međusobno uspoređene, i to u pogledu sveukupnih investicijskih i operativnih troškova.

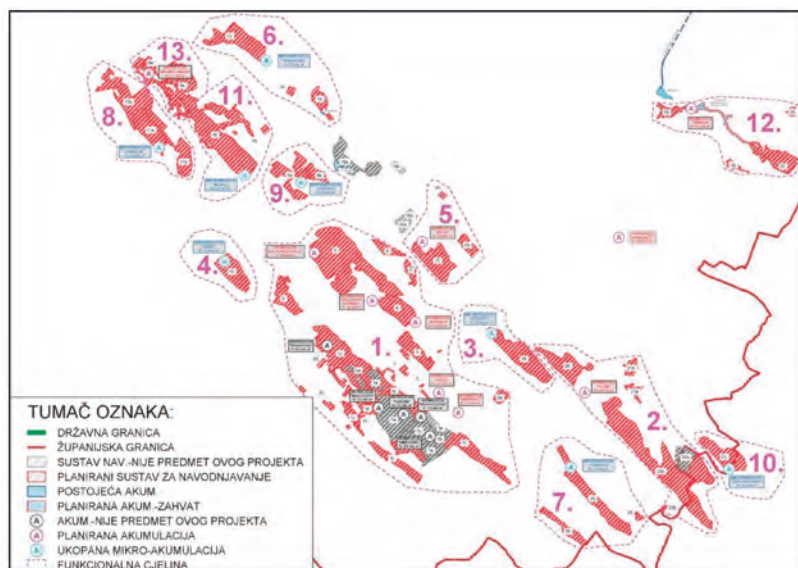


Slika 1. Postojeće i planirano hidrotehničko uređenje sliva Zrmanje i Ličkog platoa

2. ULAZNI PODACI I PODLOGE

2.1. Područje obuhvata za navodnjavanje

Pregledom karata namjene i korištenja prostora Zadarske županije, analize zainteresiranosti korisnika, izrađene projektne dokumentacije i preklapanjem s kartama ograničenja, utvrđen je planirani obuhvat unutar za koji će biti potrebno osigurati vodu za navodnjavanje. Evidentirano je ukupno 43 lokaliteta pogodnih za izgradnju sustava za navodnjavanje na ukupnoj površini od 20.014 ha. Od navedene ukupne površine, 2.453 ha ima osiguran stabilan izvor vode za navodnjavanje, to se odnosi na postojeće sustave ili sustave za koje postoji projektna dokumentacija u visokom stupnju pripremljenosti. Stoga, razmatrana površina sustava za navodnjavanje bez osiguranog stabilnog izvora vode iznosi 17.561 ha. Ovo područje objedinjuje ukupno 36 sustava za navodnjavanje, podijeljenih u 13 funkcionalnih cjelina, radi optimizacije rada sustava za dobavu vode za navodnjavanje (Slika 2).



Slika 2. Podjela područja obuhvata na funkcionalne cjeline

2.2. Potrebne količine vode za navodnjavanje

S obzirom na planiranu strukturu poljoprivredne proizvodnje (Slika 3) i potrebe pojedinih kultura za vodom, izračunate su ukupne mjesečne i godišnje bruto potrebe za vodom. Bruto potrebe predstavljaju količinu vode koja je potrebna biljci, uvećanu za gubitke u distribucijskom sustavu i na opremi za navodnjavanje. Ukupne godišnje količine vode koje bi trebalo osigurati za navodnjavanje 17.561 ha u prosječnoj godini iznose 29.155.403 m³, odnosno u sušnoj godini 46.515.546 m³. Prosječna godina je mjerodavna za analizu pogonskih troškova, dok je sušna godina mjerodavna za dimenzioniranje sustava.



Slika 3. Planirana struktura poljoprivredne proizvodnje

2.3. Raspoložive količine vode za navodnjavanje

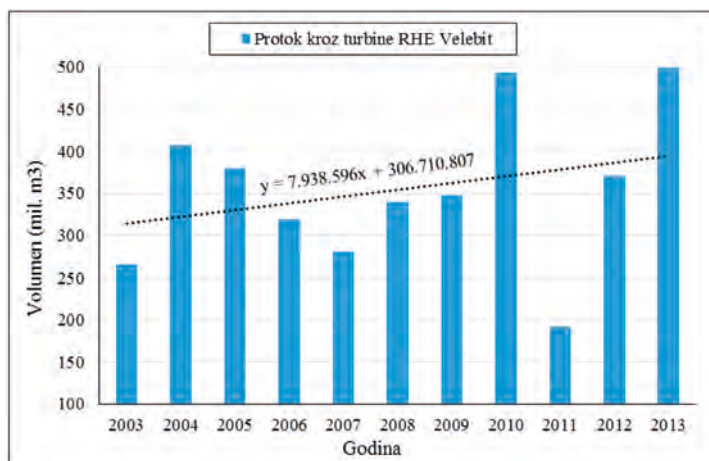
Podaci su obrađeni na hidrološkim postajama duž toka rijeke Zrmanje za period od 1984. do 2013. godine, dok su za analizu količina vode u sustavu RHE Velebit prikupljeni po-

daci za raspoloživi period od 2003. do 2013. godine. U slivu rijeke Zrmanje analizirana su sveukupno 4 profila u kojima se vrše hidrološka mjerenja, a za procjenu raspoloživih količina iz sustava RHE Velebit obrađeni su podaci o mjesečnim protocima kroz turbine. Tablica 1 prikazuje analizirane mjerodavne hidrološke postaje i proračunati godišnji dotok vode u sušnoj godini na promatranim profilima akumulacija u slivu Zrmanje. Na najzvodnijem profilu Zrmanje, sušni godišnji dotok iznosi oko 115 milijuna m³. U nizvodnom toku Zrmanje, između postaja Ervenik i Žegar, uočljiv je značajan gubitak vode u podzemlje, tako da u profilu planirane HE Žegar imamo sušni površinski dotok od samo 40 milijuna m³. Na najnižvodnijem profilu HE Zrmanja dolazi do ponovne koncentracije voda rijeke Zrmanje u površinski tok, te ukupni sušni dotok iznosi oko 351 milijuna m³.

Tablica 1. Dotok vode u sušnoj godini za akumulacije u slivu rijeke Zrmanje

Mjerodavna h.s.	Slivna površina h.s. ⁽¹⁾	Prosječni god. protok	Prosječno spec. otjecanje	Akumulacija	Slivna površina u profilu ^{(1),(3)}	Prosječni god. dotok u akum.	Otjecanje (vjer. prekoračenja 80 %)	Godišnji volumen sušnog otjec.
	A _{h.s.}	Q _{sr.}	q		A _{med.}	Q _{ulaz.}	Q _{d.} =(Q ^{80%} /Q _{sr.})*Q _{ulaz.}	G _{d.} =Q _{d.} *T
	(km ²)	(m ³ /s)	(l/s/km ²)		(km ²)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(mil. m ³)
Palanka	220,20	4,49	20,40	Prevjes	242,65	4,95	3,63	114,6
Ervenik	364,59	3,25	8,90	Žegar ⁽⁴⁾	165,45	1,70	1,25	39,5
Žegar	431,50	7,95	18,41					
Berberov buk	600,78	18,36	30,56	Zrmanja	192,69	15,16	11,13	350,9

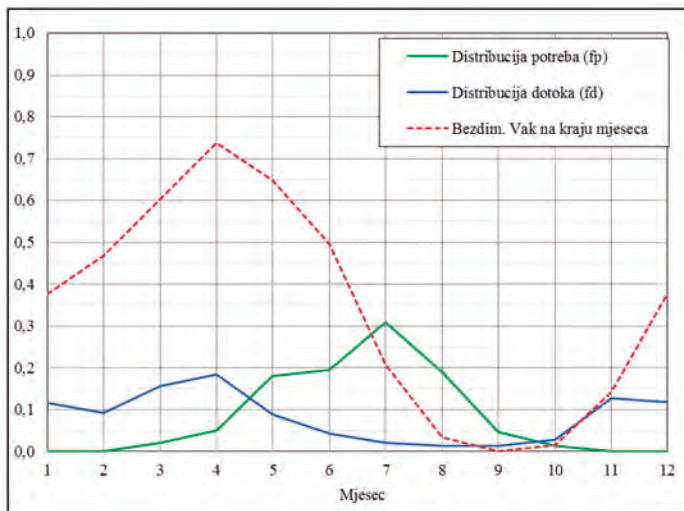
Slika 4 prikazuje godišnje ukupne godišnje količine energetski iskorištene vode kroz turbine RHE Velebit u periodu od 2003. do 2013. godine. Ukupni godišnje količine energetski iskorištene vode kretale su se od 192 milijuna m³ u 2011. godini sve do 500 milijuna m³ u 2013. godini.



Slika 4. Godišnje količine vode koje prolaze kroz turbine RHE Velebit

Slika 5 prikazuje reprezentativnu distribuciju dotoka za sve profile te distribuciju potreba vode za navodnjavanje po mjesecima. Prema analiziranim podacima najveći dotoci se

javljaju u zimskim mjesecima (od studenoga do travnja), u tom periodu je evidentirana i najveća proizvodnja električne energije na RHE Velebit. Najmanji dotoci se javljaju u ljetnim mjesecima (lipanj, srpanj, kolovoz i rujan), a u tom periodu su ujedno i najveće potrebe za vodom za navodnjavanje. Iz ove slike jasno je vidljivo da nema navodnjavanja bez prethodnog akumuliranja vode, a to znači da se akumulacije moraju puniti u zimskom periodu (studen, prosinac, siječanj sve do travnja). Maksimalni bezdimenzionalni volumen akumulacije, potreban na kraju mjeseca travnja odgovara 75 % ukupnih potreba za navodnjavanjem u sušnoj godini, a to znači da je moguće još tokom svibnja i lipnja dio od 25 % potreba podmiriti direktno iz dotoka.



Slika 5. Reprezentativne raspodjele potreba i dotoka u mjerodavnoj sušnoj godini

3. PRIKAZ REZULTATA ISTRAŽIVANJA

3.1. Bilanciranje potrebnih i raspoloživih količina vode na zahvatu

Ulaz u akumulacijski prostor predstavlja dotok vode u analizirani pregradni profil prema obrađenim hidrološkim podacima na mjerodavnoj postaji. Kod bilanciranja vode na zahvatu, postavljen je prioritet ispuštanja ekološki prihvatljivog protoka i vodoopskrbe. Također, uključeni su i gubici vode na isparavanje i procjeđivanje. Izlaz vode iz akumulacijskog prostora predstavljaju količine vode koje se prethodno koriste za proizvodnju električne energije, a zatim za punjenje akumulacija uz poljoprivredne površine i eventualno direktno podmirenje potreba, ovisno o distribuciji raspoloživih količina vode. Pretpostavljeno je vrijeme punjenja akumulacija u periodu od studenog do travnja, 26 dana u mjesecu i 20 h/dan.

Vrijeme rada hidroelektrane proračunato je prema sljedećoj formuli:

$$t = \frac{(V_{ulaz} - V_{ep+vod} - V_{gubici})}{Q_i \times 3600} \quad (1)$$

gdje je:

V_{ulaz} - volumen dotoka na pregradni profil

V_{ep+vod} - volumen vode koji je potrebno osigurati za Q_{ep} i vodoopskrbu

V_{gubici} - ukupni volumen vode koji se gubi na isparavanje i procjeđivanje

Ukupna proizvodnja električne energije proračunata je prema sljedećoj formuli:

$$W = \eta \times g \times H \times Q_i \times t \quad (2)$$

gdje je:

η - stupanj korisnog djelovanja proizvodnih jedinica

g - ubrzanje zemljine sile teže

H - visinski potencijal koji se koristi za proizvodnju el. energije

Q_i - instalirani protok

t - vrijeme rada hidroelektrane

Pri koti uspora od 40 m n.m. u akumulacijskom jezeru HE Zrmanja na raspolaganju je korisni volumen od 7,60 milijuna m³. Ukupni godišnji dotok u sušnoj godini na lokaciji pregradnog profila iznosi 351 milijuna m³. Za podmirenje ekološki prihvatljivog protoka i vodoopskrbe osigurano je 110 milijuna m³. Koristeći hidropotencijal HE Zrmanja u prosječnoj godini moguće koristiti 342 milijuna m³ za proizvodnju 28 GWh električne energije. Za navodnjavanje potrebno je osigurati dodatni akumulacijski prostor uz poljoprivredne površine volumena oko 33 milijuna m³. Kako bi se omogućilo punjenje akumulacija uz poljoprivredne površine, nužan je kapacitet zahvata vode za navodnjavanje od 3,5 m³/s i visine dizanja od 333 m. Za dobavu vode za navodnjavanje iz HE Zrmanja potrebno je utrošiti 38 GWh električne energije što premašuje njenu prosječnu godišnju proizvodnju za 10 GWh.

Pri koti uspora od 270 m n.m. u akumulacijskom jezeru HE Ervenik na raspolaganju je korisni volumen od 11 milijuna m³. Ukupni godišnji dotok u sušnoj godini na lokaciji pregradnog profila iznosi 115 milijuna m³. Za podmirenje ekološki prihvatljivog protoka osigurano je 24 milijuna m³. Koristeći hidropotencijal HE Ervenik u prosječnoj godini moguće koristiti 96 milijuna m³ za proizvodnju 41 GWh električne energije. Za navodnjavanje potrebno je osigurati dodatni akumulacijski prostor uz poljoprivredne površine volumena oko 32 milijuna m³. Kako bi se omogućilo punjenje akumulacija uz poljoprivredne površine, nužan je kapacitet zahvata vode za navodnjavanje od 4,2 m³/s i visine dizanja od 204 m. Budući da je pregradni profil HE Ervenik pozicioniran najjužnije te je visinski povoljniji u odnosu na navodnjavane površine, a za što je, iskazano kroz utrošak energije u prosječnoj godini, potrebno oko 25 GWh, a to je 17 GWh manje u odnosu na vlastitu proizvodnju.

Za vode sliva Ličkog platoa se može konstatirati da su većim dijelom već i danas iskorištene u sustavu RHE Velebit, a mogućnost korištenja preostalog vodnog potencijala

je ograničena kako u pogledu njena akumuliranja tako i transfera do površina za navodnjavanje. Jedina moguća opcija korištenja voda s Ličkog platoa bi bila zahvaćanje prethodno korištene vode u RHE Velebit, odnosno iz akumulacije Razovac. Zahvat vode iz akumulacije Razovac visinski približno odgovara zahvatu na HE Zrmanja, stoga je potreban približno isti kapacitet zahvata vode za navodnjavanje od 3,6 m³/s i visinom dizanja od 332 m. Za dobavu vode za navodnjavanje iz RHE Velebit potrebno je utrošiti 38 GWh električne energije, i to bez mogućnosti pokrića utrošene energije iz vlastite proizvodnje.

3.2. Konceptijsko rješenje navodnjavanja, procjena investicijskih i operativnih troškova

Prethodno su prikazane analize raspoloživih količina vode za navodnjavanje i to nakon podmirjenja prioriteta (ekologija, vodoopskrba i energetika). Za svaku od analiziranih varijanti lokacije zahvata, osmišljeno je jedinstveno konceptijsko rješenje navodnjavanja, koje se sastoji od glavnog zahvata vode uz pregradni profil hidroelektrane, iz kojeg se zahvaćena voda glavnom crpnom stanicom i magistralnim cjevovodima transportira do malih akumulacija raspoređenih uz funkcionalne cjeline, a zatim unutar pojedine funkcionalne cjeline, prema potrebi krajnjih korisnika, voda za navodnjavanje se distribuira crpnim stanicama i zatvorenim tlačnim cjevovodima (slika 6).



Slika 6. Konceptijsko rješenje zahvata i dovoda vode za navodnjavanje

Hidrauličko modeliranje zahvata i dovoda vode za navodnjavanje provedeno je matematičkim modelom EPANET 2 - Lewis A. Rossman, Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory Cincinnati, OH 4268 - verzija 2000. godina. Rezultati hidrauličkog modeliranja su tehničke karakteristike sastavnih elemenata razmatranih varijanti, i to, promjeri magistralnih i distribucijskih cjevovoda te karakteristike crpnih stanica.

Na temelju tehničkih karakteristika sustava, dobivenih hidrauličkim dimenzioniranjem, procijenjeni su investicijski troškovi izgradnje zahvata, crpnih stanica, akumulacija, magistralnih i distribucijskih cjevovoda. Operativni troškovi su proračunati na godišnjoj os-

novi, po jedinici zahvaćene vode (m^3), a dijele se na troškove održavanja sustava (fiksne) i pogonske troškove sustava (varijabilne). U varijantama zahvata gdje postoji mogućnost vlastite proizvodnje električne energije (HE Zrmanja i HE Ervenik), pogonski troškovi zahvata su umanjeni za taj iznos. Tablica 2 prikazuje investicijske i operativne troškove prema razmatranim varijantama.

Tablica 2. Pregled investicijskih i operativnih troškova prema varijantama

Opis stavke	Jed. mj.	Varijanta		
		HE Zrmanja	HE Ervenik	RHE Velebit
Brana	kn	377.887.909	660.044.168	0
Zahvat i CS	kn	125.681.976	97.510.897	130.137.137
Magistralni cjevovod	kn	1.361.604.232	1.624.839.187	1.349.838.192
Akumulacije	kn	2.056.805.656	2.019.572.750	2.258.719.688
CS uz akumulacije	kn	111.876.724	111.876.724	111.876.724
Distribucijski sustav	kn	1.067.663.610	1.067.663.610	1.067.663.610
UKUPNO	kn	5.101.520.107	5.581.507.335	4.918.235.350
Vlastita potrošnja El. Energije u prosj. g.	GWh	-37,78	-24,97	-37,68
Proizvodnja El. energije u prosj. g.	GWh	27,92	40,92	0
Fiksni operativni trošak	kn/ m^3	1,54	1,56	1,47
Varijabilni operativni trošak	kn/ m^3	0,54	0,20	1,43
Cijena vode-UKUPNO	kn/m^3	2,08	1,76	2,90

ZAKLJUČAK

Za odabir optimalne varijante korištena je ekonomska analiza sveukupnih koristi i troškova varijanti u periodu razmatranja od 50 godina. U ekonomskoj analizi, kao troškovi, uključeni troškovi izgradnje i operativni troškovi. Pretpostavljene koristi od uvođenja navodnjavanja, sukladno inkrementalnoj promjeni strukture poljoprivredne proizvodnje, iznose 18.300 kn/ha. Dodatne koristi od prodaje električne energije uključene su samo u varijanti HE Ervenik gdje postoji višak od 17 GWh nakon pokrića pogona zahvata iz vlastite proizvodnje.

Promatrajući omjer diskontiranih koristi i troškova, pri stopi od 5 %, najpovoljniji omjer diskontiranih koristi i troškova 1,21 ima varijanta zahvata na HE Zrmanja. Iako, varijanta HE Ervenik osim navodnjavanja ostvaruje dodatne koristi od prodaje viška električne energije, zbog visokih investicijskih troškova, ipak ima niži omjer diskontiranih koristi i troškova 1,19. Varijanta RHE Velebit, zbog najviših operativnih troškova, ima najniži omjer diskontiranih koristi i troškova 1,14.

Nakon svih provedenih analiza kao optimalno i društveno opravdano rješenje nameće se izgradnja sustava za navodnjavanje na 17.561 ha prema varijanti zahvata vode na HE Zrmanja.

LITERATURA

- [1] Hrvatska elektroprivreda d.d.: Pravilnik o pogonskim uvjetima RHE Velebit
- [2] Elektroprojekt d.d.: Studija višenamjenskog sustava korištenja voda „Ličkog platoa“, Zagreb, 1999.
- [3] Elektroprojekt d.d.: Studija višenamjenskog hidrotehničkog sustava na rijeci Zrmanji, Zagreb, 2001.

AUTORI

Enes Obarčanin dipl. ing. građ. ^a

Ana Jelka Graf, dipl. ing. građ. ^a

^a Vodoprivredno-projekttni biro, Ulica grada Vukovara 271, Zagreb, 10000, Hrvatska, enes.obarcanin@vpb.hr, ana.tomic@vpb.hr



TEMA 3.

**SUSTAVI JAVNE VODOOPSKRBE,
ODVODNJE I PROČIŠĆAVANJA
OTPADNIH VODA - STANJE
I RAZVOJNI PROJEKTI**

Recenzenti:

Danko Biondić, Gorana Ćosić - Flajsig, Jovan Despotović, Barbara Karleuša, Jure Margeta, Dijana Oskoruš, Josip Rubinić, Siniša Širac, Marija Šperac



R 3.01.

UPRAVLJANJE OBNOVLJIVIM RESURSIMA URBANOG VODNOG SUSTAVA

Jure Margeta

SAŽETAK: Rastući ekološki problemi, zajedno s nestašicom vode i hrane, te energetsom krizom i klimatskim promjenama nalažu da se svi raspoloživi resursi u urbanom vodnom sustavu (UVS) oporabe primjenom koncepta kružnog gospodarstva. Treba kreirati totalni UVS koji u uporabi resursa integrira podsustave UVS-a, te relevantne elemente sustava zbrinjavanja krutog otpada, elektroopskrbe i zaštite od voda. Organizacije zadužene za upravljanje su odgovorne za održivu opskrbu vodom, hranom i energijom, sigurnost prirodnog i održivost društveno - ekonomskog sustava u klimatski neizvjesnoj budućnosti. Stoga je potrebno minimizirati negativne utjecaje, lokalno i globalno, te tražiti tehnološke i organizacijske potencijale za uporabu resursa i jačanje otpornosti. U radu se raspravlja o potencijalima UVS-a kao izvora hranjivih tvari, vode i energije, s naglaskom na turističke regije.

KLJUČNE RIJEČI: Urbani vodni sustav, Kružno gospodarstvo, Otpornost, Održivost

MANAGEMENT OF RENEWABLE RESOURCES OF THE URBAN WATER SYSTEM

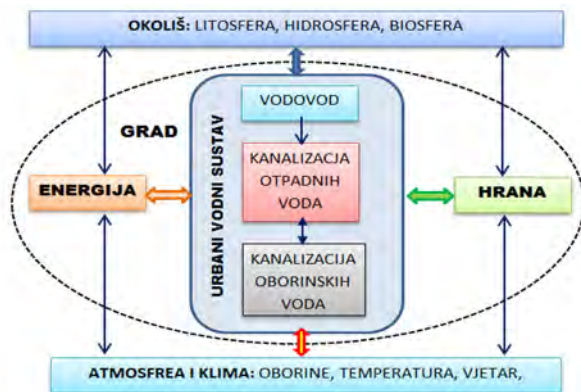
ABSTRACT: Growing environmental problems, together with water and food shortages, and the energy and climate crisis, require that all available resources in the urban water system (UWS) be recovered by applying the principles of a circular economy. It is necessary to create a total UWS that integrates the urban water system with the relevant elements of the solid waste disposal system, power supply and water protection in the recovery of resources. The organizations competent for their management are responsible for a sustainable supply of water, food and energy, the security of the natural system and the sustainability of the socio - economic system in an uncertain future due to climate change. It is, therefore, necessary to minimize negative impacts, both locally and globally, and look for technological and organizational potentials for resource recovery and resilience strengthening. This paper discusses the potentials of the UWS as a source of nutrients, water and energy, with an emphasis on tourist regions.

KEYWORDS: Urban water system, Circular economy, Resilience, Sustainability

1. UVOD

UN - ove projekcije pokazuju da će do 2050. godine dvije trećine svjetskog stanovništva živjeti u urbanim područjima, stvarajući veliku potražnju za održivim urbanim vodnim sustavom (UVS). Hrvatska neće biti izuzetak. Izazovi povezani s opskrbom vodom, hranom, energijom i onečišćenjem okoliša imaju širok raspon učinaka na društvo, gospodarstvo i okoliš. Gradovi su veliki potrošači resursa (tvari, energije), imaju veliku ulogu u nacionalnim ekonomijama, te su izvor onečišćenja, lokalnih i globalnih promjena u okolišu. Zauzimaju mali prostor na kojem koncentriraju imovinu i ljude. Imaju dinamiku življenja suprotnu prirodnom okolišu. To sve više implicira velike probleme u opskrbi vodom, hranom i energijom, te nesigurnost od prirodnih promjena i katastrofa. Priroda sve češće donosi previše ili nedovoljno vode i dugih resursa, te ugrožava infrastrukturu i ljude. Odgovor i otpornost se traži u kružnom gospodarstvu (KG) i klimatskoj neutralnosti.

Princip kružnog gospodarstva nudi priliku za rješavanje problema održivosti UVS-a, grada i okoliša, jer smanjuje ovisnost o dobavi resursa i time jača sigurnost opskrbe, ublažava vremensku varijabilnost dobave, a najviše u turističkim područjima. KG ublažava utjecaj klimatskih varijabilnosti, te osigurava razvoj novih gospodarskih aktivnosti i zapošljavanje. Primjena zahtjeva sustavan pristup koji uvažava lokani i regionalni okvir i potrebe. Nužno je integrirati otpornost u bilo koju kružnu strategiju kao odgovor na neizvjesne šokove i stresore, klimatske i ne klimatske, a sve kako bi se izbjegao prekid u pružanju usluga. Zato treba znati predvidjeti, apsorbirati, prilagoditi se, te oporaviti i nastaviti s pružanjem komunalnih usluga.



Slika 1. Međuodnos egzistencijalnih infrastrukturnih sustava i resursa

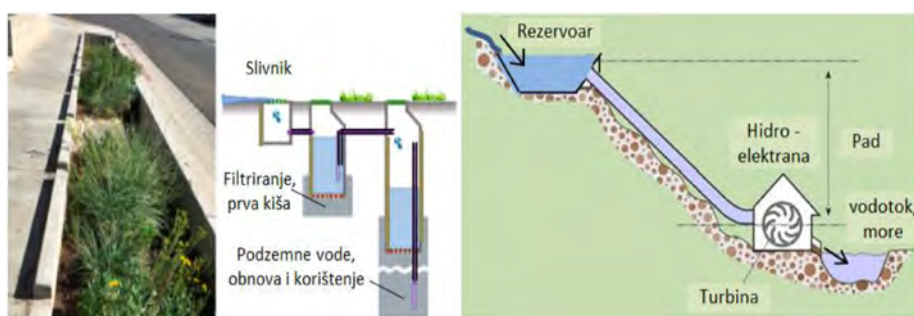
Moderni pristup integrira upravljanje ulazom, transformacijom i izlazom resursa procesima kruženja unutar urbane sredine, te urbane sredine i okoliša, Slika 1 (Ghimere i drugi, 2021). U ekonomiji recikliranja / uporabe, entropija se mora smanjivati da bi bila korisna, a gospodarenje UVS-om treba visoko - entropijski ulaz transformirati u nisko - entropijske resurse koji smanjuju dobavu primarnih resursa i jača održivost. Time se smanjuju direktni i indirektni rizici nastali kao produkt ranjivosti, izloženosti i vjerojatnosti pojave katastrofalnih događaja. Koncept treba biti ekonomski, ekološki i društveno održiv.

2. OPORABA RESURSA

2.1. Unutrašnji resursi UVS-a

Oporaba i obnova resursa su važni za ostvarenje ciljeva održivosti UN - ove Agende 2030, europskog Zelenog plana i Plana za resursno učinkovitu Europu. UVS doprinosi ostvarenju UN - ovih ciljeva: 2 smanjiti glad, 3 zdravlje i blagostanje, 6 čista voda i sanitarni uvjeti, 7 pristupačna energija iz čistih izvora, 11 održivi gradovi i zajednice, 13 zaštita klime, 14 očuvanje vodnog svijeta. Nadalje, izravno ili neizravno, imaju potencijal za pridonijeti ostvarenju svih šest ciljeva propisanih Uredbom o taksonomiji EU. To su: 1. Ublažavanje klimatskih promjena; 2. Prilagodba na klimatske promjene; 3. Održivo korištenje i zaštita vodnih i morskih resursa; 4. Prelazak na kružno gospodarstvo; 5. Sprečavanje i kontrola onečišćenja; 6. Zdrav ekosustav. Ostvarenje se mjeri prikladnim indikatorima i varijablama.

Oborinska kanalizacija sakuplja i zbrinjava oborinske vode grada. Otjecanje je povremeno, kao i ispiranje nečistoća s površine grada, pa vode treba pročititi prije ispuštanja u okoliš ili korištenja. Dinamiku i veličinu otjecanja određuje oborina, topografija i koeficijent otjecanja. Otjecanje je moguća poplavna prijetnja. Nepredvidive kiše stvaraju varijabilno otjecanje koje se između ostalog nastoji regulirati izvedbom retencija i spremnika. Zadržana voda je potencijalni resurs vode za različite namjene (tehnološke, zaštita od požara, navodnjavanje, itd.) pa i za vodoopskrbu (Singapur), te proizvodnju hidroenergije, Slika 2. Vrijednost vode kao resursa je u funkciji veličine suša na razmatranom području. Tradicionalno se koristi u mnogim krajevima, razvijenim (SAD, Australija, ...) i manje razvijenim (Indija itd.). Najveća prepreka korištenju je nedostatak regulatornog okvira i neizvjesnost u tretmanu voda. Kao odgovor na klimatske promjene i promijene u prostoru sve se više naglašava zeleni koncept odvodnje i pročišćavanja koji vraća vode u lokalni hidrološki ciklus te ciklus korištenja, čime se jačaju i štite vodni resursi, okoliš i življenje, Slika 2a. Hidro - energetski potencijal ovisi o gravitacijskoj potencijalnoj energiji spremnika, Slika 2b.



a) Koncept sakupljanja, obnavljanja i korištenja lokanih vodnih resursa

b) Koncept s formiranjem gravitacijske potencijalne energije vode

Slika 2. Primjeri uporabe oborinskih voda

Klimatske promjene donose veću varijabilnost kiša za koje postojeći sustavi nisu dimensionirani. Zato je spremanje i zadržavanje oborinskih voda prihvatljivo rješenje sanacije. Integralna rješenja zaštite od voda i njihovo korištenje je obećavajući koncept koji se sve

više primjenjuje. Zadržavanje smanjuje vršno opterećenje sustava odvodnje i uređaja, te prelijevanje mješovitih voda.

Kanalizacija otpadnih voda zbrinjava komunalne otpadne vode. Otpadne vode se sastoje od oko 99 % vode, a ostalih 1 % čine krutine, otopljene tvari, mikroorganizmi, hranjive tvari, teški metali i mikro - zagađivači. Prije ispuštanja / korištenja trebaju se pročišćavati. Primjenjuje se nekoliko faza pročišćavanja koje se oslanjaju na kombinaciju fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa koji proizvode potrebnu kvalitetu efluenta. To je takozvano „pročišćavanje prikladno za namjenu“. Velik je broj tehnologija, tako da je izbor lokalno prikladne kombinacije složen zadatak. Za komunalne otpadne vode vrijedi:

- Ponovna uporaba vode je održivo i učinkovito rješenje za mnoge namjene.
- Kanalizacijski mulj, ili jednostavno mulj, kao polu kruti materijal koji nastaje kao nus-proizvod tijekom biološke obrade je vrijedan izvor hranjivih tvari, dušika i fosfora, preostalih iz fekalija, otpada hrane i drugih organskih tvari u otpadnoj vodi.
- Otpadne vode sadrže energiju kao kemijsku, toplinsku i hidrauličku, a najčešće se oporabljuje kemijska u obliku bioplina.

Tablica 1. Načelna hijerarhija vrijednosti uporabe otpadnih voda

Vrijednost	Namjena
Oporaba pitke vode	Voda za piće
Voda za industriju	Za proizvodnju; Manje uzimanje iz okoliša;
Oporaba energije i ugljični krediti	Smanjenje unutrašnji potreba za energijom; Kompenzacija emisije ugljika;
Interna proizvodnja, hrana za ribe, riba ili bio - gorivo	Proizvodnja sirovina, proteina i etanola;
Oporaba hranjivih i organskih tvari	Povećanje prinosa; Izbjegavanje eutrofikacije; Poboljšanje tla;
Korištenje za navodnjavanje	Povećanje prinosa; Izbjegavanje zahvaćanja vode; Pouzdanost opskrbe; Obnavljanje podzemnih voda;
Sigurno odlaganje i zaštita okoliša	Površinske vode; Ekološki tokovi vode; Javno zdravlje;

U stvarnosti, lokalne sredine određuju lokalno izvedivu hijerarhiju. Međutim, stanovništvo i drugi dionici nemaju isti pogled na uporabu otpadnih voda tako da se razmatraju teme: (i) *Ekonomija i slijed vrijednosti*: Troškovi obrade, količina resursa, kvaliteta resursa, tržišna vrijednost i konkurentnost, korištenje i primjena, distribucija i transport; (ii) *Okoliš i zdravlje*: Ispuštanje, zdravstveni rizik; (iii) *Društvo i politika*: Prihvatanje i podrška, politika i propisi.

U sredinama u kojima povremeno ili trajno nedostaje resursa uporaba nema alternative. Najveći dio energije sadržan je u organskim spojevima koji se mjere kao KPK ili BPK. Kemijska energija se pretvara u energiju biomase koja se tradicionalno transformira u bioplin, a sve više i kao tekuće ili kruto gorivo. Organska tvar se anaerobnim procesom pretvara u plin koji sadrži više od 60 % metana. Proizlazi da se iz sirove otpadne vode može dobiti oko 1,5 kWh/m³, ako je KPK između 250 i 1000 mg KPK/l. Plin se može

spremiti, transportirati i koristiti po potrebi za proizvodnju topline i snage. Temperatura otpadne vode u sustavu otjecanja je 10 - 25 °C. Toplinska energija u obliku topline može se oporabiti različitim tehnologijama (izmjenjivač topline, dizalica topline) koje su jednostavne, provjerene i ekološki prihvatljive. Može se koristiti za izravno grijanje / hlađenje domova, staklenika, i drugo. Termalna energija bi mogla dati 5,8 kWh/m³ za pad temperature otpadnih voda od 5 °C. Zato korištenje postaje sve više isplativo. Otpadne vode mogu sadržavati i hidrauličku potencijalnu energiju u obliku visinske razlike ulaza i izlaza, veličine tlaka, te brzinske visine. Zbog značajki otpadnih voda i činjenice da je sustav pretežito gravitacijski, korištenje je ograničeno.

Vodovod pod tlakom (4 - 8 bara) opskrbljuje pitkom vodom naselja i industrije. Vodovodi troše i gube značajne količine energije zbog stalne promjenjivosti protoka unutar fiksne konfiguracije sustava. Zato u periodima viška tlaka vode unutar vodovodnih cijevi, koji stvara gubitke vode i energije, postoji potencijal za proizvodnju električne energije. Inače, višak tlaka se smanjuje ventilima za kontrolu tlaka i prekidnim komorama. Umjesto eliminacije, višak treba iskoristiti ugradnjom mikro hidro - energetske sustava koji ne ugrožavaju funkcioniranje vodovoda. Primjenjuje se u svim dijelovima sustava gdje postoji hidroenergetski potencijal (tlak, kinetička energija).

2.2 Oporaba resursa UVS-a i povezanih sustava

Dugoročna vizija održivosti UVS-a podrazumijeva primjenu totalnog urbanog vodnog sustava. To znači sve komunalne sustave potpunije integrirati u novi cjeloviti sustav za podršku održivosti građana i ekonomije u klimatski neizvjesnoj budućnosti. Tim se operacionalizira koncept „One Water“, a to je holistički pristup upravljanju vodom koji naglašava perspektivu da svaka voda u UVS-u ima svoju vrijednost. UVS se može integrirati s elementima urbanog energetske sustava i sustava upravljanja komunalnim organskim otpadom. Oporabljena energija iz UVS-a se povezuje s energetske mrežom radi razmjene, jer integracija unutar UVS-a nije praktična zbog disperzije objekata. Time se smanjuju gubici i jača sigurnost. Plinski spremnici uređaja se koriste kao spremnici energije za UVS, što je prikladno u sustavima baziranim na povremenim izvorima energije (solarna, vjetar). Za iste namjene mogu se koristiti i spremnici za vodu. Postoji više opcija integracije kojima se jača otpornost, a sustav racionalizira (Margeta i Đurin, 2017). Kuhinjski otpad, kao i drugi mokri biološki otpad, se mogu zbrinjavati zajedno sa sustavom otpadnih voda (Zan i drugi, 2022). Integracija može biti na mjestu nastajanja ili na uređaju. To je koncept koji se u svijetu već dugo koristi (USA). Kuhinjski mokri otpad se u domaćinstvu upušta u kanalizaciju otpadnih voda na zajedničke sustava oporabe resursa.

Ovim prikazom nisu iscrpljene sve moguće sheme integracije koje nudi totalni UVS. Problem u integraciji su vlasništvo, nadležnost, raspodjela troškova i dobiti, te kadrovi. Neizvjesna budućnost i veće potrebe će povećati primjenu. Značajne koristi mogu se ostvariti u turističkim područjima u kojima je zimi UVS neiskorišten a ljeti preopterećen. Implementacijom KG neracionalnost i varijabilnost bi se značajno ublažila jer oporabljena energija i voda umanjuju potrebu za dovodom i time se smanjuju troškovi rada i štite resursi.

Integracija zahtjeva odgovarajuće operativno i korporativno upravljanje. To između osta-

log zahtijeva implementaciju pametne upravljačke mreže. Ona integrira lokalne resurse, a sve kako bi se postigla sigurna, produktivna uporaba i opskrba. Jedna od karakteristika ovakvog sustava je otpornost prijetnjama i veća djelotvornost, budući da UVS ima više od jednog načina dobivanja energije / vode, pa ih gradovi sve više primjenjuju.

3. DIZAJNIRANJE SUSTAVA

3.1. Okvir za donošenje odluka

Izbor prihvatljivog koncepta je složen zadatak jer je na raspolaganju puno tehnologija, proizvoda i pristupa, a podataka i novca uvijek nedostaje (Kisser i drugi, 2020). Važno je realizirati fleksibilan lokalno održiv koncept. Zato se koristi totalni sistemski pristup koji integrira sve varijable koje utječu na funkcioniranje UVS-a i smanjenje entropije. Takav pristup podrazumijeva da je opskrbni lanac jedan entitet koji se sastoji od međuovisnih ili međusobno povezanih podsustava, svaki sa svojim zasebnim ciljevima, ali koji integrira aktivnosti svakog segmenta kako bi optimizirao strateške ciljeve održivosti cijelog sustava. Sustavni pristup temelji se na generalizaciji da je sve međusobno povezano i međuovisno. Totalni sustav se sastoji od povezanih i ovisnih elemenata koji u interakciji čine jedinstvenu cjelinu. Cilj je povećati koncentraciju materijala / resursa, sustav šire povezati s okolišem i smanjiti entropiju sustava. Predlaže se sistemski pristup u dva koraka. Naglasak je na aditivnoj proceduri koja obuhvaća primarne kumulativne utjecaje i posljedice uzrokovane uporabom i obnovom resursa - korak 1, Ocjena primarnih i sekundarnih posljedica na održivost sredstava za život i sigurnost okoliša – korak 2. Procjena veličine održivosti koja polazi od lokalnog okvira u kojem egzistira sustav. Cilj je izborom izbalansiranog rješenja minimalizirati razliku između ulaznih i izlaznih, za lokalnu sredinu vrijednih resursa, to jest učinkovitost uporabe, smanjiti dobavu resursa u cjelini i time ovisnost, a posebno u vršnom periodu potrošnje, te maksimalizirati tehnološku i ekonomsku učinkovitost, to jest povećati koncentraciju materijala uz prihvatljive troškove. Vizija je ostvariti pouzdan i otporan totalni urbani vodni sustav prihvatljiv za lokalnu sredinu.

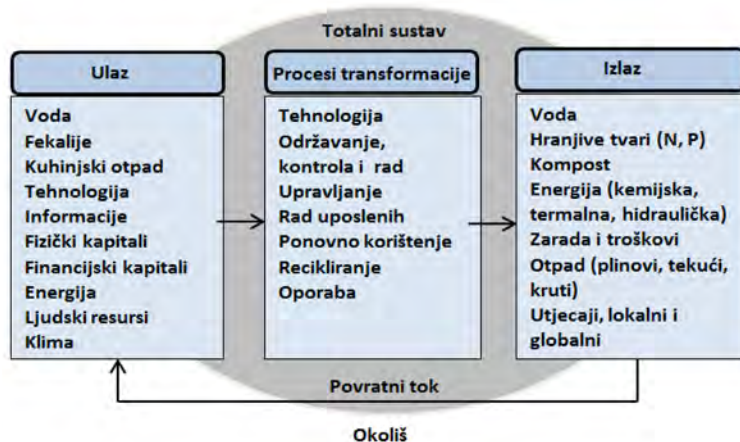
Prvi korak je odabir prihvatljive tehnologije i upravljanja. To obuhvaća dizajn, rangiranje i odabir prihvatljive opcije uporabe resursa na temelju „input - output“ (ulaz - izlaz) modeliranja koji uvažava konceptualni okvir hijerarhije otpada (HO). HO okvir definira postupak rangiranja opcija uzimajući u obzir primarne lokalne utjecaje i inducirane sekundarne učinke. HO rangira opcije te tako pojednostavnjuje proces procjene vrijednosti. Input - output model / alat se koristi za procjenu ukupnih utjecaja povezanih s procesima transformacije resursa (organskih tvari i vode) u korisne resurse. Model definira tok resursa i pružanja usluga među komponentama totalnog sustava. Drugi korak je procjena ukupne održivosti. To je agregacija izravnih (kolektivnih) učinaka odabrane opcije i posljedica povezanih s održivošću. Procjena održivosti temelji se na holističkom pristupu koji pretvara ekonomske, ekološke, socijalne i tehničke pokazatelje u kompozitni indeks (KI) (OECD, 2008).

3.2 Alati koji se koriste u sustavnom pristupu

Alati koji se koriste u rješavanju problema su ulaz - izlaz model, hijerarhija otpada (HO), metode višekriterijskog odlučivanja (MVO), te kompozitni indeks (KI).

(i) Ulaz - izlaz metodologija je nematematička tehnika analize sustava prikladna za

složene komunalne sustave i procjenu ostvarenja postavljenih ciljeva jačanja otpornosti. U takvom modelu prosudbeni smjer djelovanja naspram računalnog algoritma ima važnu ulogu u pronalaženju održivih rješenja. Pristup je jednostavan, brz, jeftin te razumljiv svim dionicima, te je primjenjiv i u lokalnim sredinama gdje je teško doći do potpunih podataka. Sve se brzo mijenja pa je i okvir za rješavanje problema vrlo dinamičan i promjenjiv, te se ne isplati odgađati aktivnosti u vezi s postizanjem ciljeva održivosti. Važno je biti približno točan i dovoljno fleksibilan kako bi se početno rješenje tijekom vremena moglo poboljšati. Ulaz - izlaz metodologija se koristi kako bi se na jednostavan način izmjerili utjecaji i gubitak materijala i energije, bilanca resursa tijekom transformacije ulaza u izlaz, hranjive tvari, voda i energija i povezane proizvodnje, te financijski efekti, slika 3. Ove metode se oslanjaju na analiziranje parova ulaza i izlaza u UVS-u kojim se utvrđuju uštede / supstitucije u uvozu i iskorištavanju prirodnih resursa aktivnostima uporabe resursa u UVS-u.



Slika 3. Ulaz - Izlaz model

Procesni gubici moraju se svesti na najmanju moguću mjeru uz poštivanje pristupačne cijene i uz odgovarajući tehnološki okvir. Naime, curenje mješavine tvari i vode, te gubitak energije iz sustava zagađuje okoliš, a ujedno je i rasipanje resursa. Manji gubici znače veći doprinos tehnologije u postizanju ciljeva održivosti, smanjenje „sistemske entropije“ i manji štetni utjecaj na okoliš i grad. Poboljšanje kvalitete izlaza / uporabe stvara troškove zato koncept uporabe mora biti isplativ da bi bio održiv. Traži se prihvatljiv kompromis između gubitka resursa / smanjenja entropije i učinkovitosti jer je gubitak vode, hrane i energije mjera rasta entropije. Pravilo minimiziranja gubitaka resursa polazi od toga da analizirani koncept minimizira gubitak proizvodnjom resursa koji izjednačava granični prihod (OP) i granični trošak (OT) ako je cijena (P) manja od prosječnog ukupnog troška (PUT), ali veća od prosječnog varijabilnog troška (PVT); $PUT > P > PVT$. Pravilo se ne može doslovno primijeniti na uporabu resursa UVS-a jer je teško procijeniti vrijednost smanjenja entropije koja se odnose na održivost grada i okoliša, ali pomaže u procjeni prihvatljivosti tehnologije.

(ii) Procedura donošenja odluka se odnosi na izbor prihvatljive opcije primjenom HO modela i MVO. Primjenom koncepta HO: „*Sprječavanje* > *Ponovno korištenje* > *Recikli-*

ranje > Oporaba > Odlaganje“, cijeli se proces može pojednostaviti, jer sama hijerarhija otpada definira prioritetni rang, to jest vrijednost alternativa s obzirom na dobiti i sigurnost za okoliš. Hijerarhija otpada primjenjuje se kao redosljed prioriteta zakonodavstva i politike o sprečavanju nastanka otpada i gospodarenju otpadom. Riječ je o okosnici politika i zakonodavstva EU-a o otpadu, a koja je primjenjiva i na otpadne vode. Stoga se izvodive opcije mogu jednostavno klasificirati i rangirati prema HO. Ostvariv skup opcija na određenoj razini hijerarhije trebao bi se potom rangirati uzimajući u obzir primarne i sekundarne utjecaje pomoću odgovarajuće višekriterijske analize (Stojičić i drugi, 2019). Na taj način, odabir najbolje opcijske strategije može se promatrati kao postupni proces ili „hijerarhijski sekvencijalni proces odlučivanja“. Sekvencijalno donošenje odluka proceduralni je pristup gdje donositelj odluke uzastopno promatra proces, korake hijerarhije otpada, prije donošenja konačne odluke. U HO sekvencijalnim problemima odlučivanja postoje implicitni ili eksplicitni troškovi i utjecaji, društveni i okolišni povezani sa svakim opažanjem koje je potrebno procijeniti. Sukladno politici kružnog gospodarstva pozitivnim se smatraju rješenja koja pretvaraju otpad u resurs koji se ponovno uvodi u gospodarstvo / potrošnju, a negativnima rješenja koja to ne rade.

(iii) Mjerenje veličine ostvarenja održivosti bazira se na korištenju kompozitnog indeksa (KI). KI su matematičke agregacije skupa pokazatelja koji sažimaju karakteristike održivosti sustava i podržavaju donositelje odluka u donošenju političkih zaključaka (OECD, 2008). Procjena KI sastoji se od nekoliko faza: formuliranje problema (vizija, bitna razmatranja, opseg i konceptualni okvir), identifikacija i analiza kriterija i pokazatelja relevantnih za pojave koje se mjere, prikupljanje i procjena kvalitete podataka, normalizacija i ponderiranje i rangiranje kriterija i indikatora, analiza agregacije i osjetljivosti.

Izbor kriterija i indikatora počinje od generičke razine i iskustva na prethodnim problemima. Skup treba proširiti kako bi vjernije odražavao lokalni kontekst, okvir politike HO i KG i glavne značajke opcija za oporavak resursa koja se razmatraju. Proces odabira opcije za bilo koju razinu integracije se provodi sukladno predloženom procedurom. U početnoj etapi rješavanja problema sve se može obaviti na ekspertnoj razini odlučivanja, te potom analizu postepeno širiti ako je projekt prihvatljiv. Sve se mora odvijati u stalnoj konzultaciji s dionicima, bez čije podrške projekt neće uspjeti.

ZAKLJUČAK

Pitka voda, oborinske vode, otpadne vode, organski otpad, vjetar i sunce su oduvijek bili obnovljivi resursi za ljude. Kroz povijest su se koristili na različite načine uz primjenu različitih postupaka i prakse. Prihvatljivost uporabe je nedovoljna zbog nerazumijevanja vrijednosti oporabljenih resursa i učinkovitosti procesa, iako vrijednost resursa raste s rastom koncentracije stanovništva i sezonske varijabilnosti potreba. Zato se cijela ideja oko uporabe resursa UVS-a u mnogim sredinama u Hrvatskoj sporo realizira, iako je korisnost neupitna. Izlaz se traži u poboljšanju komunikacije među dionicima i dionicima. Totalni sustavi su složeni za razumijevanje i osjetljivi za upravljanje. Zato se sve više primjenjuju napredni koncepti, alati i tehnologije u domeni pametnog upravljanja koje omogućuju bolji uvid i predvidljivost putem napredne analitike (informacijske entropije, statističke fizike, umjetne inteligencije, itd.).

Interakcija voda, energije i prehrane se koncentrira u domaćinstvima, tako da se sakupljanje i odvodnja nusprodukata življenja (otpadne vode, kruti otpad) treba integrirati jer je to prirodni put prema cjelovitoj uporabi resursa i smanjenju entropije grada i okoliša. Tako je u prirodnom okolišu, a trebalo bi se događati i u urbanom. Primjena kružnog gospodarstva i uporaba resursa UVS-a je stoga u dijelovima države, kao što su otoci s značajnim turističkim kapacitetima i veliki gradovi, sve potrebija i isplativija. Naime, turističke sredine sa sezonskim turizmom imaju komunalnu infrastrukturu dimenzioniranu na vršne sezonske potrebe pa su izvedeni kapaciteti u najvećem periodu godine neiskorišteni i time neracionalni, te problematični za održavanje i pogon. Primjenom principa kružnog gospodarstva i uporabe resursa vršni uvoz resursa se u značajnoj mjeri može smanjiti, a time rad UVS-a racionalizirati te ojačati. Smanjuje se angažirana snaga i potrošnja energije u periodu visoke cijene i time troškovi rada. Smanjuje se potrošnja vode za sekundarne potrebe, a hranjive tvari se vraćaju u ciklus proizvodnje hrane. Zato je uporaba prioritetna strategija za slučaj povećanja potreba i ograničene dobave, te adaptacije na klimatske promjene. Oporaba resursa i energije iz otpadnih voda i otpada hrane je prioritet.

Oporaba resursa je i obaveza koja proizlazi iz Europskog Zelenog plana i drugih politika EU i HR, a projekti se mogu realizirati iz zajedničkih sredstava EU. To znači da bi gradovi i UVS-ovi trebali implementirati principe kružnog gospodarstva, te time pretvoriti visoko - entropijski urbanu otpadnu tvar i vode u nisko - entropijske resurse i proizvode koji smanjuju upotrebu primarnih resursa. Želi se ostvariti niska entropija UVS-a i grada jer su urbani rizik i entropija međusobno povezani.

LITERATURA

- [1] Ghimere U., Sarpong G., Gnaneswar V.G. (2021): *Transitioning Wastewater Treatment Plants toward Circular Economy and Energy Sustainability*, ACS Omega 2021, 6, 11794–11803
- [2] OECD, 2008. *Handbook on Constructing Composite Indicators; Methodology and user guide*. <https://www.oecd.org/sdd/42495745.pdf>. (Accessed 16 May 2020).
- [3] Stojčić, M., Zavadskas, E., Pamučar, D., Stević, Ž., Mardani, A., 2019. *Application of MCDM methods in sustainability engineering: A literature review 2008 - 2018*. Symmetry. 11, 350; <https://doi.org/10.3390/sym11030350>.
- [4] Zan, F., Iqbal, A., Lu, X., Wu, X., Chen, G. (2022): 'Food waste - Wastewater – Energy / Resource' Nexus: Integrating food waste management with wastewater treatment towards urban sustainability. Water Res. 211, 118089.
- [5] Margeta J., Đurin, B. (2017): *Innovative approach for achieving of sustainable urban water supply system by using of solar photovoltaic energy*, April 2017, *Ingeniería e Investigación* 37(1):58, DOI: [10.15446/ing.investig.v37n1.57983](https://doi.org/10.15446/ing.investig.v37n1.57983)
- [6] Kisser i drugi (2020): *A review of nature - based solutions for resource recovery in cities*, Blue - Green Systems Vol 2 No 1, IWA Publishing, doi: 10.2166/bgs.2020.930

AUTOR

prof. dr. sc. Jure Margeta ^a

^a Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Matice Hrvatske 15, 21000 Split, Hrvatska, margeta@gradst.hr



R 3.02.

ANALIZA KVAROVA NA VODOOPSKRBNOM SUSTAVU VALPOVO - BELIŠĆE

Tatjana Mijušković - Svetinović, Josipa Matotek, Vinko Blažević

SAŽETAK: Kontrola gubitaka vode je od izuzetne važnosti za svaki vodoopskrbni sustav. Oštećenja na vodoopskrbnoj mreži kao posljedicu imaju curenje vode te direktno doprinose gubitcima u vodoopskrbnom sustavu. Takva curenja predstavljaju stvarne gubitke i na njih prvenstveno mislimo kada govorimo o mogućnosti smanjenja gubitaka vode. U radu su navedeni čimbenici koji utječu na pogoršanje stanja i / ili oštećenja vodovodne mreže. Inače, čimbenike možemo podijeliti na: fizičke, čimbenike okoliša i operativne. U radu su, također, analizirani kvarovi / puknuća na odabranom vodoopskrbnom sustavu istočne Slavonije, vodoopskrbnom sustavu Valpovo - Belišće, ovisno na kojem dijelu sustava je kvar nastao (mreža, kućni priključak, hidrant). Analiza je provedena na temelju podataka u razdoblju od 2006. do 2018. godine. Cilj analize je bio odrediti indeks kvara sustava, kako bi se odredilo stanje određenog dijela sustava. U radu je primijenjen Bayesov teorem za određivanje vjerojatnosti pojave kvara na vodovodnoj mreži. Analizom je utvrđeno da se vodoopskrbna mreža odlikuje dobrim tehničkim stanjem, te da je najvjerojatnije da će se kvar pojaviti na kućnom priključku. Kako je održavanje značajna stavka u poslovanju vodoopskrbnog sustava, provođenjem analize pojave kvarova, pri definiranju plana održavanja, mogu se značajno smanjiti troškovi održavanja, a istodobno produžiti vijek eksploatacije sustava.

KLJUČNE RIJEČI: Vodoopskrbna mreža, Kvarovi, Analiza, Bayesov teorem

ANALYSIS OF FAILURES IN THE BELIŠĆE - VALPOVO WATER SUPPLY SYSTEM

ABSTRACT: Managing water losses is of utmost importance for any water supply system. Damages on a water supply network result in water leakage, thus directly contributing to the losses from the water supply system. Such leakages represent real losses that we primarily think of when we talk about a possibility of reducing water losses. The paper lists the factors influencing a deterioration of the state and / or causing damage to a water supply network. These factors can be divided into physical, environmental and operational. The paper also analyses the failures / ruptures within the selected Valpovo - Belišće water supply system in eastern Slavonia, depending on the part of the system where a failure occurred (network, household connection, hydrant). The analysis was based on data from the 2006 - 2018 period. The purpose of the analysis was to determine the failure

index in order to identify the condition of a certain part of the system. It applies the Bayes' theorem in determining the probability of a water supply network failure occurrence. The analysis has shown that the water supply network is in a good technical condition and that a failure occurrence on a household connection is the highest probability. Since maintenance cost is an important factor in a water supply system feasibility, the analysis of failure occurrences during the maintenance plan development can significantly reduce the maintenance cost and simultaneously extend the system's life expectancy.

KEYWORDS: Water supply network, Failures, Analysis, Bayes' theorem

1. UVOD

Količina izgubljene vode je važan pokazatelj stanja vodoopskrbnog sustava, pa je kontrola gubitaka vode od izuzetne važnosti za svaki vodoopskrbni sustav. Za smanjenje gubitaka vode, danas se koriste različite metode analize bilance vode i vodnih gubitaka u vodoopskrbnim sustavima. Jedna od njih je IWA metodologija, koja gubitke definira kao razliku između zahvaćene, odnosno dobavljene vode i ovlaštene potrošnje. Prema istoj metodologiji, gubitke možemo podijeliti na prividne i stvarne. Prividni gubitci su posljedica nepreciznosti vodomjera i neovlaštene potrošnje. Stvarni se gubitci vode pojavljuju na mreži i kućnim priključcima kao posljedica kvarova / puknuća te prelijevanja i curenja iz vodosprema. Curenja kao posljedica kvarova / oštećenja predstavljaju stvarne gubitke i na njih, prvenstveno, mislimo kada govorimo o smanjenju gubitaka vode i na njih možemo u velikoj mjeri utjecati. Čimbenike koji doprinose pogoršanju stanja i oštećenju cijevi, odnosno mreže, možemo podijeliti na: fizičke, okolišne i operativne ili radne (Yufei, 2017).

U radu je analizirana pojava kvarova / puknuća na mreži vodoopskrbnog sustava Valpovo - Belišće, na temelju podataka trinaestogodišnjeg razdoblja od 2006. do 2018. godine. Podatci su prikupljeni na vodoopskrbnom sustavu javnog isporučitelja vodnih usluga vodoopskrbnog sustava grada Valpova, općine Petrijevci, Bizovac i općine Koška s pripadajućim naseljima, a sustav obuhvaća i dvije ulice u naselju Belišće. Kvarovi su analizirani ovisno o dijelu sustava na kojem se kvar pojavio, odnosno je li nastao na vodovodnoj mreži, kućnom priključku ili hidrantu.

Cilj ovog rada je ukazati na mogućnost prikupljanja, sortiranja, ali i analiziranja kvarova / puknuća, a sve u cilju donošenja najboljih upravljačkih odluka i efikasnijeg održavanja vodovodne mreže. Također, u radu je određen indeks kvara sustava, kako bi se kvantificiralo stanje određenog dijela sustava. U radu je primijenjen Bayesov teorem za određivanje vjerojatnosti mjesta pojave kvara na vodoopskrbnoj mreži.

2. ANALIZA KVAROVA NA VODOOPSKRBNOM SUSTAVU VALPOVO - BELIŠĆE

2.1 Općenito o uzroku kvarova

Različiti čimbenici utječu na vodoopskrbni sustav i njegovo stanje. InfraGuide (2003) ove čimbenike dijeli na tri glavne kategorije: fizičke, okolišne i operativne ili radne. Ovi čimbenici su prikazani i detaljnije opisani u Tablici 1 (Yufei, 2017; Mijušković - Svetinović i drugi, 2019).

Tablica 1. Čimbenici koji utječu na stanje sustava za opskrbu vodom (Yufei, 2017)

ČIMBENICI		
FIZIČKI	OKOLIŠNI	OPERATIVNI
Materijal cijevi Debljina stijenke cijevi Starost cijevi Vintage - retro cijevi Promjer cijevi Način spajanja - tip spoja Otpornost cijevi na tlak Zaštita cijevi i premazi Različiti metali Ugradnja cijevi Kvaliteta proizvodnje cijevi	Podloga cijevi - posteljica Zasipanje rova Vrsta tla Podzemne vode Klimatske karakteristike Položaj cijevi Promjene u neposrednoj blizini cijevi Lutajuće struje Seizmička aktivnost	Prevladavajući tlak u mreži Kratkotrajan unutrašnji tlak u mreži Curenje iz cijevi Kvaliteta vode Brzina vode u cijevima Mogućnost pojave povratnog toka vode Održavanje

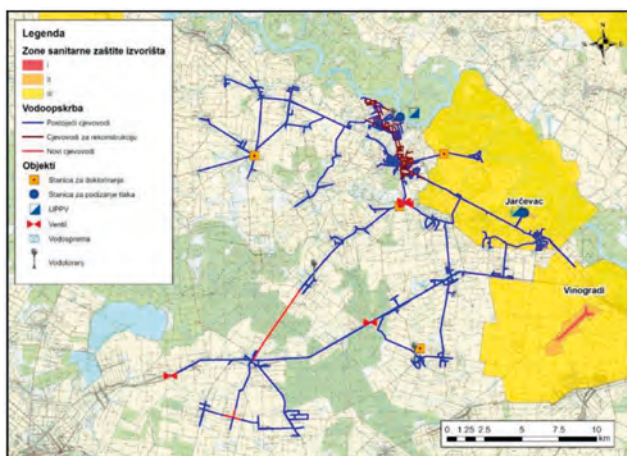
Røstum (2000) predlaže nešto drugačiju podjelu čimbenika koji doprinose propadanju / oštećenju vodovodne mreže i cijevi. On čimbenike dijeli na četiri tipa: strukturne, vanjske ili okolišne, unutrašnje i čimbenike održavanja. Podjela je prikazana u Tablici 2.

Tablica 2. Čimbenici koji utječu na stanje vodovodne mreže i cijevi (Røstum, 2000)

ČIMBENICI			
STRUKTURNI	VANJSKI / OKOLIŠNI	UNUTRAŠNJI	ODRŽAVANJA
Lokacija cijevi Promjer cijevi Duljina cijevi Godina ugradnje Materijal cijevi Način spajanja cijevi Unutarnja zaštita cijevi Vanjska zaštita cijevi Tlak Debljina stijenke cijevi Dubina ugrađene cijevi	Tip tla Opterećenje Podzemna voda Lutajuće struje Stanje podloge - posteljice Soljenje - zaštita prometnice od leda Temperatura Vanjska korozija	Brzina vode Tlak vode Kvaliteta vode Mogućnost pojave vodnog udara Unutarnja korozija	Datum pojave kvara Datum popravka kvara Lokacija kvara Tip kvara Postojanje prethodnog oštećenja cijevi

2.2. Kvarovi na vodoopskrbnom sustavu Valpovo - Belišće

Ukupna duljina vodovodne mreže na sustavu Valpovo - Belišće (Slika 1), s profilima DN ≥ 80 mm, je oko 299 km. Oko 56 % mreže (170 km) ima promjer cijevi DN > 150 mm. Vodovodna mreža koju opskrbljuje vodocrpilište Jarčevac je dužine 233 km. Izgrađena je od azbest - cementnih (AC), polivinil - kloridnih (PVC), polietilenskih (PEHD) te lijevano željeznih (LŽ) cijevi. Na sustavu ima 3.427 priključaka s ugrađenim vodomjerom. Vodovodna mreža koju opskrbljuje vodocrpilište Belišće je dužine 66 km, a izgrađena je, također, od AC, PVC, PEHD i LŽ cijevi. Na mreži ima 3.476 priključaka s ugrađenim vodomjerom. Na vodovodnoj mreži ima dosta AC (na području koje opskrbljuje Dvorac Valpovo d.o.o. ima ih 9 %, a na području Hidrobel d.o.o. Belišće 23 %) i LŽ cijevi (na oba vodoopskrbna područja ima ih 1 %) koje je potrebno zamijeniti, što radi smanjenja gubitaka, što radi poboljšanja kvalitete isporuke pitke vode. Na vodoopskrbnom sustavu nalazi se 978 hidranata na kojima se, najčešće, pojavljuju gubitci zbog neovlaštene potrošnje.

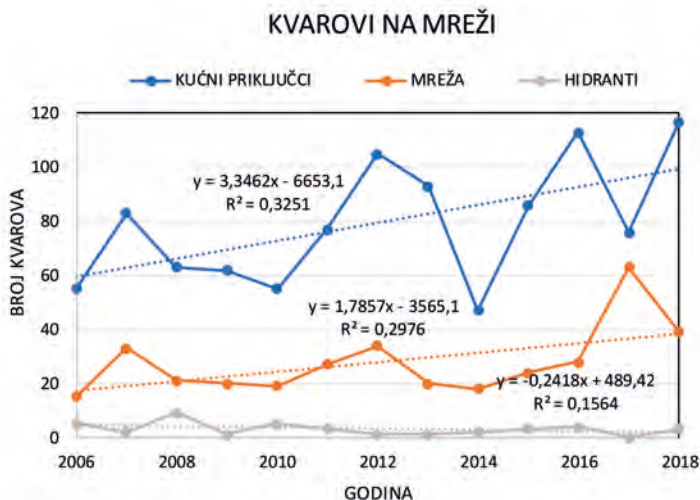


Slika 1. Vodovodna mreža vodoopskrbnog područja Valpovo - Belišće (Hidroing d.o.o., 2017)

Tijekom trinaestogodišnjeg razdoblja (2006. - 2018.) bilježeni su podaci o kvarovima (lomovi / puknuća) na vodoopskrbnoj mreži Valpovo - Belišće. Vođena je evidencija mjesta pojave kvara i to je li se kvar dogodio na kućnom priključku, mreži (glavnoj ili sekundarnoj) ili hidrantu. Kvar na kućnom priključku odnosi se na sve lomove koji su nastali od spoja na glavnu ili razdjelnu vodovodnu mrežu do ventila prije vodomjera, uključujući i sam ventil. Kvar na mreži podrazumijeva lom / puknuće / oštećenje cijevi bilo da se nalazi na glavnoj bilo na sekundarnoj mreži.

Slika 2 prikazuje broj kvarova u razmatranom razdoblju na cjelokupnom vodoopskrbnom sustavu. Iz slike je vidljivo da u analiziranom trinaestogodišnjem razdoblju postoji značajan trend porasta kvarova na priključcima i mreži, dok kvarovi na hidrantima bilježe negativan trend. Također je iz Slike 2 vidljivo da kvarovi / puknuća nastaju puno češće na kućnim priključcima nego na samoj mreži. Bitno je napomenuti da su kvarovi na mreži, uglavnom, uočeni obilaskom mreže ili dojavom građana (tzv. vidljiva curenja). Veća curenja su uočena i naglim porastom potrošnje vode na mjerачu protoka na vodocrpilištu.

Na razmatranom vodoopskrbnom sustavu nisu bile korištene metode za otkrivanje kvarova i curenja kao što su pametne loptice, korelatori, geofoni i slično (Blažević, 2019).



Slika 2. Broj kvarova na vodovodnoj mreži vodoopskrbnog sustava Valpovo - Belišće u razdoblju od 2006. do 2018. godine

Iz Tablice 3 (Blažević, 2019) se vidi broj kvarova / puknuća na mreži, kućnim priključcima i hidrantima. Najveći broj kvarova je nastao na kućnim priključcima, zbog brojnosti istih, ali i zbog loših vodovodnih armatura ugrađivanih u priključke. Ukupno je na mreži nastalo gotovo tri puta manje kvarova / puknuća nego na kućnim priključcima. Samo manji dio zabilježenih kvarova su kvarovi na hidrantima. Iz Tablice 3 je, također, vidljivo u razdoblju 2006. - 2018. godine na vodovodnoj mreži bilo je, zbog uočenog curenja vode, ukupno 1429 intervencija. Od toga se 1032 intervencije odnosilo na kvar kućnog priključka promjera DN 20 mm - DN 40 mm (najvećim dijelom do kvara je došlo na spojnici ili prvom ventilu u vodomjernom oknu). Zbog učestalog pucanja, 2013. i 2014. godine, izvedeno je petnaestak potpunih rekonstrukcija priključaka. Od 361 kvara koji je otklonjen na vodovodnoj mreži, 299 kvarova se pojavilo na cjevovodima promjera DN 50 mm - DN 300 mm. Promjer DN 300 je najveći profil mreže. Najčešće pucaju PVC ili AC cijevi, najvećim dijelom u Valpovu i to one koje su postavljene u prometnim površinama. Manjim dijelom pucaju PEHD cijevi promjera DN 50 mm i to u Bizovcu. Preostala 36 kvara odnose se na hidrante DN 80, kod kojih dolazi do puknuća zbog smrzavanja jer nije ispuštena voda iz zimskog ventila (Blažević, 2019).

Na promatranom vodoopskrbnom sustavu Valpovo - Belišće povećan je broj kvarova na kućanskim priključcima pogotovo u 2017. i 2018. godini, a u distribucijskoj mreži ne primjećujemo značajne promjene broja kvarova sve do 2017. godine. Povećan broj kvarova te godine posljedica su građevinskih radova na vodoopskrbnom području koji nisu direktno povezani sa samom vodoopskrbnom mrežom, već s izgradnjom odvodnog sustava aglomeracije Petrijeveci i slično. Porast broja kvarova na kućnim priključcima je rezultat širenja same vodoopskrbne mreže što je rezultiralo i porastom broja kućnih priključaka.

Tablica 3. Broj kvarova na vodovodnoj mreži u razdoblju 2006. - 2018. (Blažević, 2019)

GODINA	BROJ KVAROVA NA VODOVODNOJ MREŽI			
	PRIKLJUČCI	MREŽA	HIDRANTI	UKUPNO
2006.	55	15	5	75
2007.	83	33	2	128
2008.	63	21	9	93
2009.	62	20	1	83
2010.	55	19	5	79
2011.	77	27	3	107
2012.	105	34	1	140
2013.	93	20	1	114
2014.	47	18	2	67
2015.	86	24	3	113
2016.	113	28	4	145
2017.	76	63	0	139
2018.	117	39	3	159
UKUPNO:	1032	361	36	1429

2.3. Modeliranje stupnja kvarova na vodovodnoj mreži Bayesovim teoremom

Pristup sanitarno ispravnoj vodi je jedno od temeljnih ljudskih prava te je zato potrebno zalihama pitke vode održivo upravljati. Potrošači korištenje pitke vode iz javnih vodoopskrbnih sustava smatraju sigurnim načinom izbjegavanja rizika povezanih s količinom i kvalitetom vode. Tvrtke koje se bave javnom vodoopskrbom imaju obvezu osigurati kontinuiranu i pouzdanu opskrbu potrošača vodom, ali i u ovom načinu opskrbe vodom postoji rizik po pitanju sigurnosti vodoopskrbe. Sigurnost rada vodoopskrbnog sustava značajno je povećana primjenom GIS baze podataka, uvođenjem nadzorno upravljačkog sustava (tzv. NUS-a) kao i danas često korištenim matematičkim modelima.

Analiza je kvarova vodoopskrbne mreže već nekoliko desetljeća predmet interesa znanstvenika, a provodi se različitim statističkim metodama, ali i na temelju vrijednosti indeksa kvarova i / ili dostupnosti indeksa. Zato je dobro za svaki vodoopskrbni sustav odrediti učestalost pojave kvarova, odnosno indeks kvarova λ na vodoopskrbnom sustavu. Zbog, u ovom području, nedostatka zakonskih propisa, usvojene su sljedeće granične vrijednosti indeksa kvarova za pojedine vrste cijevi (Szpak i Tchórzewska - Cieślak, 2018;

Gwoździej - Mazur i Świętochowski, 2019):

- glavne cijevi $\lambda < 0.3$ kvar / (km · godina)
- distribucijske cijevi: $\lambda_{DP} = 0.50$ kvar / (km · godina)
- priključci u kućanstvu: $\lambda_{HC} = 1.00$ kvar / (km · godina)

Vrijednost indeksa kvarova λ može se izračunati prema sljedećoj formuli:

$$\lambda = \frac{n(\Delta t)}{L \cdot \Delta t} \quad (1)$$

gdje je:

λ - prosječna vrijednost indeksa kvarova za cijevi, [1],

$n(\Delta t)$ - broj kvarova u vremenskom intervalu Δt , [1],

L - duljina cijevi u vremenskom intervalu Δt [km],

Δt - promatrano razdoblje [godina].

Pri donošenju odluka koje se odnose na održavanje potrebno je uzeti u obzir procjenu stope kvara na vodovodnoj mreži, jer prekid opskrbe vodom predstavlja ključni parametar sa stajališta potrošača. U analizi sigurnosti rada mreže treba primijeniti metodu određivanja vjerojatnosti pojave kvara na vodovodnoj mreži korištenjem Bayesovog teorema:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) P(A)}{P(B)} \quad (2)$$

gdje je:

$P(A)$ - "a priori" vjerojatnost pojave događaja A,

$P(B)$ - "a priori" vjerojatnost pojave događaja B,

$P(A/B)$ - uvjetna vjerojatnost pojave događaja A pod uvjetom pojave događaja B (naziva se i "posteriori" vjerojatnost jer dolazi od događaja B ili ovisi o njegovoj vrijednosti),

$P(B/A)$ - uvjetna vjerojatnost pojave događaja B uz uvjet nastanka događaja A.

Za razmatrani vodoopskrbni sustav Valpovo - Belišće su, prvo, izračunate vrijednosti indeksa kvara za podatke o kvarovima i mreži od 2016. do 2018. godine i to za svaku godinu posebno, odnosno u izraz (1) je uvršteno razdoblje $\Delta t = 1$ godina. Nakon toga je na promatrani vodoopskrbni sustav za isto razdoblje primijenjen Bayesov teorem, odnosno izraz (2). U tu svrhu su korišteni podatci iz Tablice 2. Rezultati su prikazani u Tablici 4.

Tablica 4. Broj kvarova i indeks kvara na vodoopskrbnom sustavu Valpovo - Belišće

GODINA	BROJ KVAROVA				DUŽINA CIJEVOVODA			INDEKS KVARA λ			
	DISTRIBUTIVNA MREŽA	KUĆNI PRIKLJUČAK	HIDRANT	UKUPNO - MREŽA	[km]			[kvar/(km · god)]			
					DISTRIBUTIVNA MREŽA	KUĆNI PRIKLJUČAK	UKUPNO - MREŽA	DISTRIBUTIVNA MREŽA	KUĆNI PRIKLJUČAK	HIDRANT	UKUPNO - MREŽA
2016.	28	113	4	145	222,55	74,37	299	0,13	1,52	0,02	0,48
2017.	63	76	0	139	222,55	75,38	299	0,28	1,01	0,00	0,46
2018.	39	117	3	159	222,55	76,45	299	0,18	1,53	0,01	0,53
PROSJEK:								0,19	1,35	0,01	0,49

Na temelju vrijednosti indeksa kvara utvrđeno je da analiziranu vodoopskrbnu mrežu karakterizira dobro tehničko stanje distributivne mreže, ali ne baš dobro stanje kućnih priključaka. Prosječna vrijednost indeksa kvara za distribucijske cijevi u razmatranom razdoblju je $\lambda = 0.19$ kvara / (km · godina) što je manje od granične vrijednosti (Szpak i Tchórzewska - Cieślak, 2018) $\lambda_{DP} = 0.50$ kvarova / (km · godine). Za kućne priključke indeks kvara je $\lambda = 1.35$ kvar / (km · godina), što je veće od prihvatljive granične vrijednosti $\lambda_{HC} = 1.00$ kvar / (km · godina).

Uvjjetna vjerojatnost kvara u distribucijskim cijevima je $P(X_1 | Y) = 0.475$, za kućanske priključke $P(X_2 | Y) = 0.489$, a za kvar na hidrantu je najmanja i iznosi $P(X_3 | Y) = 0.037$.

ZAKLJUČAK

U razdoblju 2006. - 2018. godine na vodovodnoj mreži vodoopskrbnog sustava Valpovo – Belišće bilo je ukupno 1.429 intervencija zbog curenja, 72,22 % intervencija se odnosilo na kvar kućnog priključka, 25,26 % na mreži, a ostalih 2,52 % na hidrantima. Kvarovi su, uglavnom, uočeni ili obilaskom mreže ili dojavom građana.

Poduzeća koja se bave vodoopskrbom imaju obvezu osigurati kontinuiranu i pouzdanu opskrbu potrošača vodom, te osigurati potrebnu količinu i kvalitetu isporučene vode. Također, nužno je i smanjiti gubitke vode. Kako bi to postigli nužno je prikupljati podatke o kvarovima i iste analizirati. Kod donošenja odluke, koje se odnose na obnovu ili zamjenu vodovodnih cijevi, potrebno je uzeti u obzir procjenu stupnja kvara vodovodne mreže. Na temelju vrijednosti indeksa kvara utvrđeno je da analiziranu vodoopskrbnu mrežu karakterizira dobro tehničko stanje distributivne mreže, ali ne baš dobro stanje kućnih priključaka. Kvarovi sustava vodoopskrbe često rezultiraju ograničenjem opskrbe potrošača vodom, zato je važno detaljno utvrditi uzroke pojave kvara što omogućuje planiranje radnji koje je potrebno poduzeti kako bi se povećala pouzdanost vodoopskrbe. Utvrđivanje vjerojatnosti pojave kvara na vodovodnoj mreže pomoću Bayesovog teorema može biti dobar alat i treba ga primijeniti u analizi sigurnosti rada mreže.

LITERATURA

- [1] Blažević, V., (2019): *Statistička analiza komunalnih vodnih građevina*, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, diplomski specijalistički rad, Osijek, 2019.
- [2] Gwoździej - Mazur J. and Świętochowski, K. (2019): *Failure frequency of water supply networks in the Podlaskie voivodeship*, E3S Web of Conferences 100, 00025 (2019), EKO-DOK 2019
- [3] Hidroing d.o.o. Osijek (2017): *Studija izvodljivosti "Projekt vodoopskrbe i odvodnje Valpovo - Belišće"*, Osijek
- [4] Mijušković - Svetinović, T., Blažević, V., Maričić, S., (2019): *Analiza kvarova na vodoopskrbnom sustavu*, Zbornik radova 17. skup o prirodnom plinu, toplini i vodi PLIN 2019 / 10. međunarodni skup o prirodnom plinu, toplini i vodi, Strojarški fakultet u Slavanskom Brodu, Osijek, 2019.
- [5] Røstum, J., (2000): *Statistical modelling of pipe failures in water networks*, doctoral thesis, Trondheim, Norway, 2000 (<http://hdl.handle.net/11250/242082>, pristup 25. 7. 2019.)
- [6] Szpak, D. and Tchórzewska - Cieślak. B. (2018): *Modelling of failure rate of water supply network using the Bayes theorem*, E3S Web of Conferences 44, EKO-DOK 2018 00175
- [7] Yufei, G. (2017): *Systematic Review for Water Network Failure Models and Cases*, University of Arkansas, Fayetteville, Theses and Dissertations, 2017. (<http://scholarworks.uark.edu/etd/2608>, pristup 25. 7. 2019.)

AUTORI

mr. sc. Tatjana Mijušković - Svetinović ^a

mr. sc. Josipa Matotek, prof. mat. i inf. ^a

Vinko Blažević, stuč. spec. ing. aedif. ^b

^a Građevinski i arhitektonski fakultet Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 3, Osijek, 31000, Hrvatska, tatjanam@gfos.hr, matotek@gfos.hr

^b Hrvatske vode, VGO Osijek, VGI Karašica - Vučica, Donji Miholjac, Ante Starčevića 9, Donji Miholjac, 31540, Hrvatska, vinko.blazevic@voda.hr



R 3.03.

**POBOLJŠANJE VODNOKOMUNALNE
INFRASTRUKTURE JIVU PONIKVE VODA d.o.o.
- PODSUSTAV PONIKVE**

**Berislav Bohatka, Silvio Giorgolo, Tamara Vrkić Šivolija - Jelica,
Ivica Plišić**

SAŽETAK: Vodoopskrbni sustav otoka Krka karakterizira predvidljivo povećanje potrošnje vode u budućnosti i gotovo nikakav preostali prostor za smanjenje stvarnih vodnih gubitaka u sustavu.

Glavni izvor pitke vode na otoku Krku je akumulacija Ponikve (koja prihranjuje galejski vodozahvat Vela Fontana) i koja osigurava blizu 74 % sirove vode za vodoopskrbni sustav otoka. U ljetnom razdoblju, kada su potrebe za vodom najveće, razina vode u akumulaciji pada, pri čemu dolazi do zagrijavanja vode i pogoršanja njene kvalitete. U tom razdoblju, voda zahvaćena na vodozahvatu Vela Fontana dodatno se kondicionira, a nedostajuće količine vode nadomještavaju se vodom koja se preko Krčkog mosta u ograničenim količinama dobavlja iz vodoopskrbnog sustava Rijeka.

Negativan utjecaj klimatskih promjena na slivnom području akumulacije Ponikve očituje se u nepovoljnom mjesečnom rasporedu količine oborina i izraženijim prosječnim mjesečnim kišnim ekstremima, što rezultira manjkom vode u akumulaciji ljeti i prelijevanjem viška vode iz akumulacije zimi. Imajući na umu očekivani porast potrošnje, u budućnosti će biti potrebno osigurati dovoljne količine zdravstveno ispravne vode za piće u vrijeme turističke sezone. Navedeno je nužno postići uz prihvatljive troškove prerade sirove vode i neovisnost otočnog vodoopskrbnog sustava o raspoloživosti vode s kopna.

Projektom „Vodoopskrbni sustav Krka - podsustav Ponikve, II. faza” planira se nadvišenje postojeće brane Ponikve kojim će dubina akumulacijskoga jezera porasti za 5 m, a volumen povećati 3,5 puta, uz istovremeno povećanje površine akumulacije za 1,6 puta. Planiranim nadvišenjem, u krškoj dolini će biti moguće zadržati vodne količine koje dotječu u kišnim mjesecima, a danas se prelijevaju. Izgradnjom i uključivanjem u vodoopskrbni sustav novih vodozahvata po obodu akumulacije kapacitet izvorišta će se postepeno povećavati kako bi zadovoljio predviđene potrebe za vodom. Povećanje dubine akumulacijskog jezera pozitivno će utjecati na trofička obilježja akumulacije, odnosno rezultirat će usporavanjem procesa eutrofikacije i lakšim održavanjem dobrog ekološkog potencijala jezera.

Otpornost na klimatske promjene u slučaju duljih sušnih razdoblja na otoku, koja bi

mogla negativno utjecati na količine dotoka u akumulaciju postiže se rekonstrukcijom i dogra-dnjom dobavnog pravca s kopna.

KLJUČNE RIJEČI: Akumulacija, Brana, Vodozahvat, Kapacitet izvorišta, Kvaliteta vode, Klimatske promjene, Autonomost vodoopskrbnog sustava

IMPROVEMENT IN THE PONIKVE VODA d.o.o. INCUMBENT WATER COMPANY'S WATER UTILITY INFRASTRUCTURE - PONIKVE SUBSYSTEM

ABSTRACT: The water supply system of the island of Krk is characterized by a predictable increase in water consumption in the future and almost no remaining space for reducing actual water losses in the system.

The main source of drinking water on the island is the Ponikve reservoir (which recharges the Vela Fontana gallery water intake) and which provides close to 74 % of raw water for the island's water supply system. In the summer period, when demand for water is at its highest, the water level in the reservoir drops, causing the water to heat up and its quality to deteriorate. During this period, the water drawn at the Vela Fontana intake is additionally conditioned, and the missing amounts of water are replaced with limited quantities of water that are acquired from the City of Rijeka water supply system on the mainland via the Krk Bridge.

The negative impact of climate change on the catchment area of the Ponikve reservoir is manifested in an unfavorable monthly distribution of precipitation and more pronounced average monthly rain extremes, resulting in a water shortage in the reservoir in the summer and an overflow of excess water from the reservoir in the winter. Bearing in mind the expected increase in consumption, it will be necessary to provide sufficient quantities of healthy drinking water during the tourist season in the future. The aforementioned must be achieved with acceptable raw water processing costs and independence of the island's water supply system from the availability of water from the mainland.

Within the "Krk water supply system - Ponikve subsystem, II. phase" project, it is planned to elevate the existing Ponikve dam, which will increase the depth of the reservoir by 5 m and its storage capacity by 3,5 times, while at the same time increasing the surface of the reservoir by 1,6 times. The planned dam heightening will enable the retention of water quantities flowing in during the rainy months, and overflowing today, in the karst valley. By building and including new water intakes around the perimeter of the reservoir in the water supply system, the source capacity will gradually increase in order to meet the anticipated water demand. The increased depth of the lake will have a positive effect on the trophic characteristics of the reservoir, i.e. it will result in the slowing down of the eutrophication process and easier maintenance of the lake's good ecological potential.

Resistance to climate change in the event of longer dry periods on the island, which could negatively affect the amount of inflow into the reservoir, is achieved by reconstructing and upgrading the supply line from the mainland.

KEYWORDS: Reservoir, Dam, Water intake, Source capacity, Water quality, Climate change, Autonomy of the water supply system

1. UVOD

Vodoopskrbni sustav otoka Krka vrlo je dobro razvijen i njime se opskrbljuje 99,5 % stanovništva na otoku. Vodoopskrbnim sustavom upravlja javni isporučitelj vodnih usluga Ponikve Voda d.o.o., u vlasništvu jedinica lokalne samouprave.

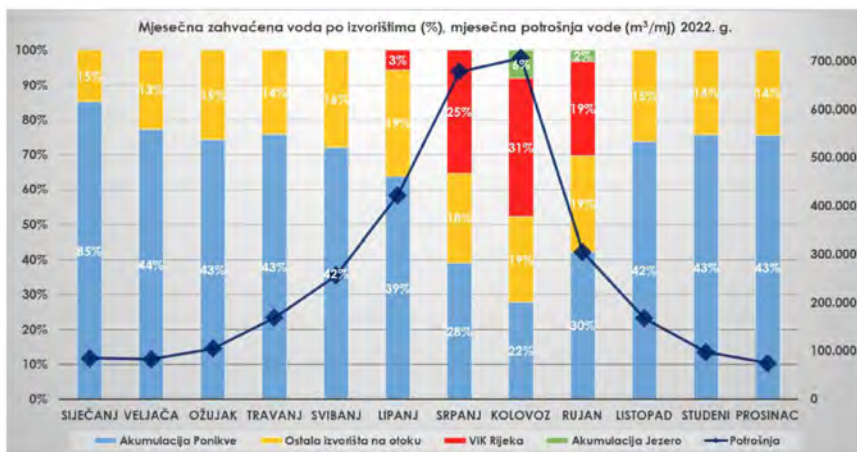
Podsustav za zahvaćanje vode Ponikve, koji obuhvaća istoimenu akumulaciju s pripadajućom infrastrukturom za zahvat, filtriranje i distribuciju vode, pokriva oko 70 % ukupnih potreba za vodom na otoku i opskrbljuje Grada Krka i općine Omišalj, Malinska - Dubašnica, Dobrinj, Vrbnik i Punat (osim naselja Stara Baška). Potrebe ovog podsustava namiruju se i dopunjavanjem potrebnih količina iz vodoopskrbnog sustava Grada Rijeke. Naselja Općine Vrbnik također je moguće opskrbiti vodom iz vodocrpilišta Paprati. Postojeća izvorišta vode na otoku Krku kvalitetom i količinom zadovoljavaju gotovo cijele godine, osim na vrhuncu turističke sezone kada se potrošnja vode poveća do šest puta (od min. 4.000 m³/dan do max. 26.000 m³/dan), a kvaliteta vode u akumulaciji Ponikve pogorša. U tom razdoblju nedostajuće količine vode nadomještavaju se vodom koja se preko Krčkog mosta dobavlja iz vodoopskrbnog sustava Rijeketa. Problematika dovoda vode s kopna, osim kupovine i transporta vode, uključuje i ograničenost raspoloživih količina koje ovise o JIVU Vodovod i kanalizacija d.o.o. Rijeka, a koja se pokazala stvarnim izazovom već 2022. godine.

2. POTROŠNJA VODE NA OTOKU KRKU

Vodoopskrbni sustav otoka Krka od 1978. godine karakterizira sezonalnost potrošnje vode te konstantni porast broja priključaka i potrošnje vode. Navedeno je prvenstveno rezultat povećanja potreba za vodom privatnih kućanstava, koje svoj maksimum na godišnjoj razini dosežu u srpnju i kolovozu kada se potroši 6 do 8 puta više vode od prosjeka u vansezonskim mjesecima (od siječnja do ožujka i od studenog do prosinca).

Usporedbom broja priključaka od 2018. do 2022. godine može se ustanoviti trend porasta broja privatnih korisnika za 500 - 600 novih korisnika godišnje odnosno trend porasta broja privrednih korisnika za 30 - 40 novih korisnika godišnje (ne uzimajući u obzir pandemijsku 2020. godinu). Potrošnja vode ostvarena 2022. godine doseže ekstreme zabilježene tijekom perioda kada je u sustavu bila prisutna potreba za tehnološkom vodom od 2006. do 2013. godine. Porast ukupnih godišnjih količina prati porast fakturiranih količina u srpnju i kolovozu, ali i povećanje potrošnje u predsezoni i sezoni (od travnja do srpnja te u rujnu i listopadu).

Tijekom ljeta 2022. godine JIVU Ponikve Voda d.o.o. suočen je s izazovom ograničenja dotoka vode s kopna, zbog čega se u javnu vodoopskrbu otoka, povrh akumulacije Ponikve i ostalih izvorišta, ponovno uključuju i količine iz prirodnog jezera kod Njivica. Zbog lošije kvalitete sirove vode iz Jezera i ograničenih količina (jezero presušuje i predstavlja važno stanište biljnih i životinjskih vrsta), voda iz Jezera se u javni vodoopskrbni sustav 2022. uključila isključivo interventno kako bi se izbjegle redukcije pitke vode na vrhuncu turističke sezone.



Slika 1. Usporedba mjesečnih zahvaćenih količina po udjelu izvorišta i mjesečne potrošnje 2022. godine

U sljedećih 30 godina predviđa se porast broja vodoopskrbnih priključaka kućanstava generiran trendovskim promjenama u broju stanovnika, te daljnjim porastom broja ukupnih stambenih jedinica odnosno povećanjem turističkih kapaciteta u vidu privatnih apartmana. Prema dosad usvojenim projekcijama, do 2054. godine očekuje se porast broja priključaka kućanstava za oko 11 % u odnosu na 2022. godinu. Istovremeno, porast broja privrednih vodoopskrbnih priključaka predviđa se za oko 8 %.

Tijekom projektnog razdoblja ne predviđa se značajna promjena specifične potrošnje vode stalnih stanovnika u odnosu na postojeće stanje, dok se povećanje specifične potrošnje vode privatnih apartmana do kraja projektnog perioda pretpostavlja 20 % u odnosu na 2022. godinu.

U 30 - godišnjem projektnom periodu predviđa se povećanje ukupne godišnje potrošnje za oko 20 % u odnosu na 2022. godinu, pri čemu se tijekom godine očekuju značajnije mjesečne varijacije. Tijekom srpnja i kolovoza predviđa se povećanje fakturiranih količina za oko 20 % mjesečno.

3. GUBICI VODE U VODOOPSKRBNOM SUSTAVU KRK

U vodovodni i kanalizacijski sustav otoka Krka u posljednjih dvadesetak godina uloženo je milijardu i 75 milijuna kuna. Zahvaljujući tim investicijama, vodni standard otoka Krka u samom je hrvatskom vrhu, a u pojedinim segmentima i iznad europskog prosjeka. U periodu od 2004. do 2022. godine očigledan je trend smanjenja vodnih gubitaka u vodoopskrbnoj mreži, pri čemu razdoblje od 2012. do 2022. godine karakterizira značajno i kontinuirano smanjenje vodnih gubitaka iz godine u godinu. Udio nefakturirane vode u bilanci Ponikve Voda d.o.o. 2022. godine je iznosio je 18 %. Stvarni gubici vode iste su godine iznosili 11,01 %.

Bez precizne analize kako bi se ustvrdila financijski najisplativija poboljšanja, u 30 - godišnjem projektnom periodu se ne računa na značajnije daljnje smanjenje vodnih gubitaka.

4. PODSUSTAV ZA ZAHVAĆANJE VODE PONIKVE

4.1. I. faza podsustava Ponikve

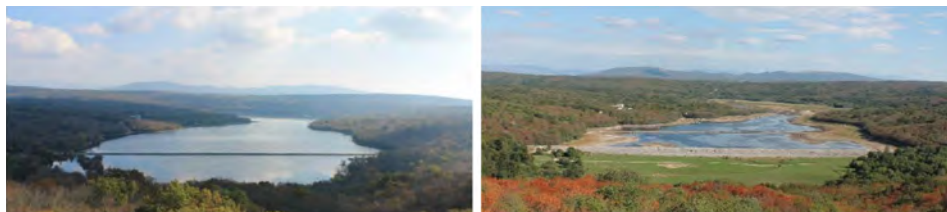
I. faza podsustava Ponikve formirana je izgradnjom nasute brane na prostoru nekadašnjega plitkog povremenog jezera u istoimenoj uvali na otoku Krku, čime je odvojena ponorna zona od manje propusnoga dijela uvale. Obuhvaća istoimenu akumulaciju, nasutu branu, temeljni ispušt, sigurnosni preljev i injekcijsku zavjesu s pripadajućom infrastrukturom za zahvat, filtriranje i distribuciju vode (galerijski zahvat podzemne vode i crpna stanica Vela Fontana, uređaj za preradu vode (filtarsko postrojenje), vodospremnik i crna stanica).

Akumulacija Ponikve (koja prihranjuje galerijski vodozahvat Vela Fontana) je glavno izvorište za proizvodnju vode na otoku Krku i trenutno osigurava blizu 74 % sirove vode za potrebe otoka.

4.2. Akumulacija Ponikve

Uvala Ponikve je dolina unutar karbonatnih stijena čije se dno nalazi između kota 11,0 i 17,0 m n.m. Za visokih vodostaja zbog većih dotoka od kapaciteta odvoda (ponora) u dolini se je stvarala prirodna retencija, koja je ovisno o hidrološkoj godini trajala od tri do šest mjeseci (u ljetnome razdoblju uvala je redovito bila suha). Prosječni višegodišnji maksimalni vodostaj u retenciji iznosio je oko 16,0 m n.m., a maksimalni zabilježeni prije izgradnje brane i formiranja akumulacije iznosio je 20,40 m n.m.

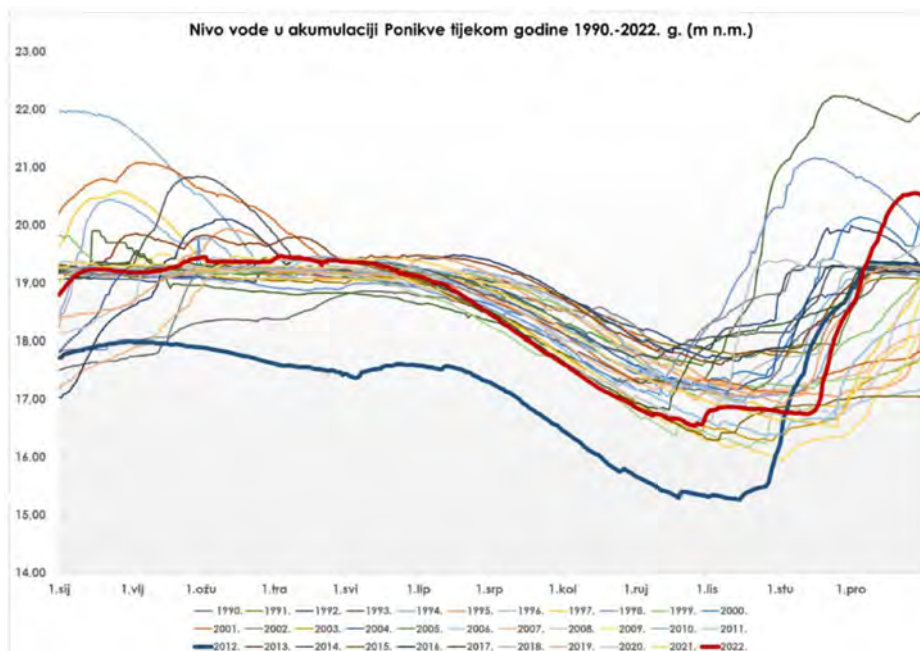
I. faza podsustava Ponikve nastala je 1986. godine izgradnjom brane čime je odvojena ponorna zona od nepropusnijega dijela uvale. Najviša zabilježena kota prirodne retencije iznosi 21,75 m n.m. Kota praga preljeva sadašnje brane nalazi se na 19,14 m n. m. kod koje volumen vode u akumulaciji iznosi 1.950.000 m³, a površina akumulacije oko 0,75 km². Osnovno je obilježje ove akumulacije mala dubina vode. Kada je akumulacija puna, srednja dubina iznosi tek oko tri metra, a najveća dubina u neposrednoj blizini brane doseže jedva šest metara. Mala dubina negativno utječe na kvalitetu vode u akumulaciji. Akumulacija se puni oborinama koje padnu na slivno područje, čija se površina procjenjuje na oko 34,5 km² (Pavičić i Ivičić, 1996). U ljetno - ranojesenskom razdoblju, kada su potrebe za vodom najveće, razina vode u akumulaciji pada. Za vrijeme kišnog razdoblja razina vode može biti i do 2 metra viša od krune brane, što znači da je u tom razdoblju dotjecanje vode puno veće od kapaciteta ponora kroz koje voda utječe iz uvale.



Slika 2. Ekstremni hidrološki uvjeti - zimsko preljevanje krajem siječnja (lijevo) i sniženje razine vode u kolovozu 2012. godine (desno)

Na sljedećem grafikonu prikazane su fluktuacije razine vode u akumulaciji Ponikve tijekom godine u razdoblju od 1990. do 2022. godine. Najniža razina vode 2012. izmje-

rena je 14. listopada i iznosila je 15,27 m n.m. Najniža zabilježena razina 2022. godine iznosila je 16,54 m n.m. i izmjerena je 26. rujna.



Slika 3. Fluktuacije razine vode u akumulaciji Ponikve tijekom godine od 1990. do 2022. godine

Kako su Ponikve nedjeljive, akumulacija prihranjuje podzemlje. Fluktuacije razine vode u akumulaciji odražavaju se na razinu vode u galerijskom vodozahvatu Vela Fontana, glavnom zahvatu za potrebe vodoopskrbe otoka Krka. U kolovozu 2012. godine došlo je do potpunog pražnjenja vodozahvata. Kako bi se osigurala normalna vodoopskrba otoka, između 17. i 19. kolovoza i 23. i 25. kolovoza pribjegli su precrcpljivanju vode iz same akumulacije Ponikve u galeriju vodozahvata. Najniža razina vode 2022. izmjerena je 20. rujna i iznosila je 4,8 m n.m., čime se nivo vode u vodozahvatu približio najnižim kotama 2012. godine prije pražnjenja galerije.

4.3. Kvaliteta vode

Izgradnjom brane i stvaranjem sadašnje, stalne akumulacije, značajno se utjecalo na kvalitetu površinskih i podzemnih voda na području Ponikava. Formiranjem akumulacije došlo je do razvoja bujne vegetacije u jezeru i oko njega, koja ima sezonski karakter. Kvaliteta vode akumulacije jako varira s godišnjim dobima i hidrološkim prilikama.

Za visokih voda i protočnoga rada akumulacije, što je obično prisutno u hladnijem razdoblju godine, od prosinca do travnja, voda u akumulaciji je dobre kvalitete. U najdubljim dijelovima akumulacije temperaturne razlike po vertikali su vrlo male ili je prisutna potpuna izotermija. Vodena masa je dobro izmiješana pa su fizikalna, fizikalno - kemijska i kemijska svojstva vode u vodenom stupcu jednaka.

Nastupom toplijega dijela godine, u kasno proljeće i početkom ljeta, kada se potrebe za vodom povećavaju, dolazi, usporedo sa snižavanjem razine vode u akumulaciji, do zagrijavanja vode. Veće temperature omogućavaju pojačani razvoj primarnih proizvođača hrane procesom fotosinteze: fitoplanktona, koji vrhunac doseže sredinom ljeta. Kvaliteta vode se pogoršava, voda postaje mutna i jače obojena (zelenosmeđa, žutosmeđa) te prezasićena kisikom u površinskom sloju dok u pridnenom sloju kisika nedostaje. Prozirnost vode se smanjuje na 2 m. Usprkos tome na pretežnom dijelu akumulacije, zbog male dubine, svjetlost prodire do dna omogućujući intenzivan razvoj.

Akumulacija Ponikve je plitka akumulacija koja se prihranjuje većim dijelom dotokom podzemne vode. Ove dvije značajke, plitkost i jako prihranjivanje podzemnim vodama, imaju vrlo veliku važnost za temperaturne karakteristike akumulacije. Tijekom ljetnoga razdoblja, zbog male dubine, nije izražena vertikalna temperaturna stratifikacija na najvećem dijelu akumulacije, osim na najdubljem dijelu jezera oko vodozahvata Vela Fontana, gdje je prisutan stalni dotok podzemne vode.

Ugibanjem biljaka i procesi razgradnje organske tvari jačaju u kasno ljeto i jesen, kada se u cijeloj vodenoj masi jezera povećava koncentracija organskih tvari, amonijaka i mangana, a smanjuje koncentracija kisika. Sve navedene značajke čine vodu jezera nepovoljnom s gledišta njezinoga korištenja za piće.

Stvaranjem stalne akumulacije pogoršala se i kvaliteta podzemnih voda. Utjecaj površinske vode na kvalitetu podzemne vode odražava se na njezinu temperaturu, miris, pH vrijednost, sadržaj organskih tvari, amonijaka, mangana i željeza. Sirova voda zahvaćena na vodozahvatu Vela Fontana pročišćava se procesima aeracije, filtracije i dezinfekcije UV sterilizatorima. U ljetno i jesensko razdoblje vodu je potrebno dodatno aerirati i filtracijom iz nje ukloniti željezo i mangan. Unatoč tome, podzemna voda je daleko boljih svojstava od površinske, pa se nove količine vode trebaju prvenstveno zahvaćati u podzemlju.

Dnevne količine crpljenja kondicionirane vode prema potrošačima ograničene su pranjem filtara u filtarskom postrojenju, za vrijeme kojeg filtri nisu u pogonu. Broj filtara koje je dnevno potrebno prati ovisi o kvaliteti zahvaćene vode. Tijekom turističke sezone kad se razina vode u akumulaciji smanjuje, a samim time i kvaliteta vode pogoršava, povećava se vrijeme potrebno za pranje filtara i smanjuju ukupne dnevne količine crpljenja.

Budući da se u budućnosti planira povećano crpljenje pitke vode iz podzemlja na području Ponikvi, jedna od mogućih posljedica je pogoršanje kakvoće podzemnih voda kao posljedica pojačanog crpljenja i mogućeg prodora voda akumulacije. Posebno je to vjerojatno tijekom ljetnog razdoblja, kada su potrebe za pitkom vodom najveće, a kakvoća vode akumulacije najlošija.

5. UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA PONIKVE

Utjecaj klimatskih promjena, koje se općenito javljaju u osamdesetim godinama prošloga stoljeća, kod akumulacijskih jezera razmatra se na količini oborine i na njezinoj raspodjeli unutar godine.

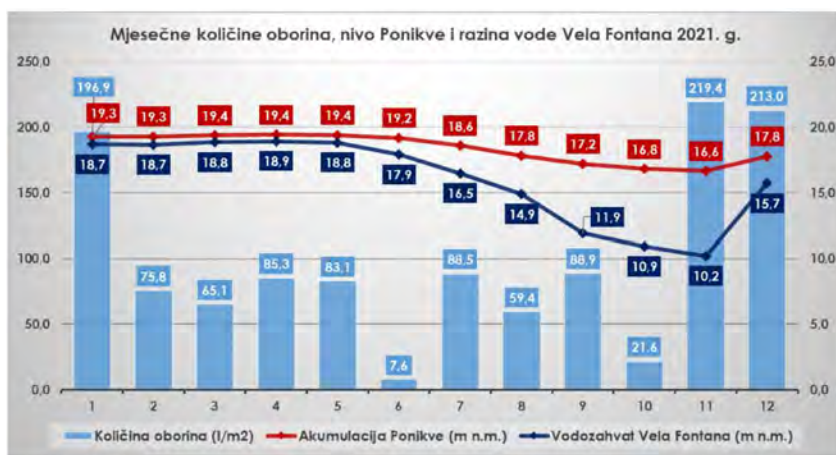
Prema „Analizi izgradnje II. faze akumulacije Ponikve na Krku u svjetlu klimatskih promjena“ (Žugaj i ostali, 2017) na području Ponikva nema bitnih promjena u količinama godišnjih oborina, ali je njihova raspodjela u novijem razdoblju (1981. - 2015.) zna-

tno nepovoljnija u odnosu na ranije razdoblje (1965. - 1980.). Drugim riječima, iako su prosječne godišnje količine oborina relativno konstantne, sušni period tijekom godine poklapa se s periodom turističke sezone i najvećim potrebama za vodom u vodoopskrbnom sustavu.

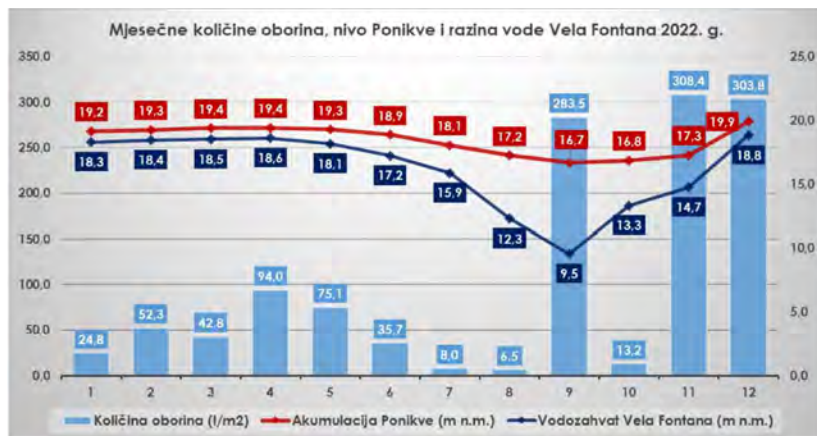
U novijem razdoblju, početak ljeta i jeseni bio je najsuši dio 2021. godine, pri čemu je minimum dosegnut u mjesecu lipnju u kojem je zabilježeno samo 7,6 mm kiše po četvornom metru, što je značajnije manje nego prosjek oborina u najsušem mjesecu od 1982. do 2002. godine (srpanj, 39,5 mm). Količina oborina izmjerena u drugom najsušem mjesecu 2021. (listopad, 21,6 mm) također je manja od količine u najsušem mjesecu od 1982. do 2002. Istovremeno, maksimum oborina je dosegnut isključivo tijekom kasnojesenskih i prvih zimskih mjeseci u kojima je zabilježeno 196,9 mm kiše po četvornom metru u siječnju, 219,4 mm u studenom i 213,0 mm u prosincu. Sve izmjerene vrijednosti značajnije su veće od maksimalne vrijednosti u razdoblju od 1982. do 2002. godine (rujan, 167,9 mm).

Period od siječnja do rujna 2022. godine bio je izrazito sušan. Od siječnja do lipnja palo je samo 325 l/m² kiše, što je 40 % manje od prosjeka za taj dio godine (520 mm po četvornom metru). U srpnju je palo samo 8 mm kiše po četvornom metru, a u kolovozu ponovno samo 6,5 l/m². Prva ozbiljnija oborina pala je tek u rujnu, tijekom kojeg je zabilježeno 283,5 l/m². Do kraja godine palo je 1.260,7 l/m² kiše, a nivo vode u akumulaciji i ponornoj zoni se izjednačio i dostigao maksimum od 20,55 m n.m.

Na sljedećim grafikonima prikazane su prosječna mjesečna količina oborina u l/m², prosječni mjesečni nivo vode u akumulaciji Ponikve i prosječna mjesečna razina vode u vodozahvatu Vela Fontana tijekom 2021. i 2022. godine. Prosječni mjesečni nivo akumulacije Ponikve u kolovozu i rujnu 2022. godine bio je 0,6 m i 0,5 m manji od godine prije. Istovremeno, prosječna mjesečna razina vode u vodozahvatu Vela Fontana u kolovozu i rujnu 2022. bila je čak 2,6 m odnosno 2,4 m niža od razina izmjerenih u 8. i 9. mjesecu 2021.

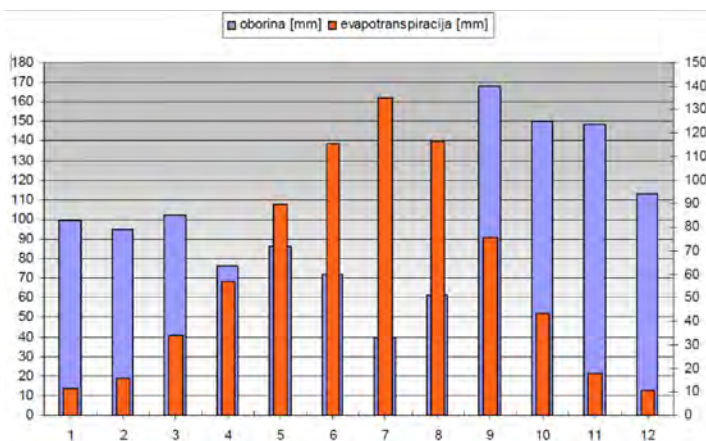


Slika 4. Prosječne mjesečne količine oborina, nivo vode u akumulaciji Ponikve i razina vode u vodozahvatu Vela Fontana 2021. (gore) i 2022. godine (dolje)



Slika 4. Prosječne mjesečne količine oborina, nivo vode u akumulaciji Ponikve i razina vode u vodozahvatu Vela Fontana 2021. (gore) i 2022. godine (dolje)

Uz količinu oborina, topli i sunčani ljeta su najnepovoljnije razdoblje godine i s aspekta evapotranspiracije, odnosno gubitka vode kroz atmosfersko isparavanje i životne procese biljaka. Tada je akumulacija vode potencijalno smanjena zbog jakog isparavanja koje je pojačano nedostatkom vode zbog sušnog perioda, visokih temperatura i manjka oborine. Može doći do potrošnje zalihe vode iz tla da bi se zadovoljile potrebe biljaka za evapotranspiracijom. Dok ljeti oborine ne mogu namiriti potrebu za evapotranspiracijom, zimi je obilno nadmašuju. U jesensko - zimskom razdoblju kada oborina kreće prema maksimumu, a evapotranspiracija prema minimumu ne bi smjelo biti problema s održavanjem razine vode u jezeru. Na sljedećoj slici prikazan je godišnji hod srednje mjesečne evapotranspiracije uz oborinu dan u sklopu Studije utjecaja na okoliš "Vodoopskrbni sustav Krka Podsustav Ponikve - II. faza" (Žrvnar i ostali, 2009.) za period od 1982. do 2002. godine. Maksimum od 134,7 mm javlja se u srpnju, sukladno najvećoj dozaračenoj energiji i najvišim temperaturama te minimumu oborine.



Slika 4. Razdioba srednje mjesečne evapotranspiracije i oborine za postaju Krk za promatrano razdoblje analize

6. II. FAZA PODSUSTAVA PONIKVE

Nakon izgradnje I. faze podsustava Ponikve nastavljena su istraživanja, promatranja i mjerenja na terenu u cilju sigurnosti građevina, definiranja bilance voda te očuvanja kvalitete vode. Ova su istraživanja pokazala da je uvala Ponikve perspektivno izvorište vode, odnosno da u dolinu tijekom godine dotječu velike količine vode koje još nisu iskorištene. Stoga se pristupilo planiranju II faze u kojoj je predviđeno nadvišenje postojeće brane i povećanje volumena akumulacije.

Uključivanjem u sustav novih vodozahvata koji će se nalaziti po obodu akumulacije kapacitet izvorišta će se postupno povećati s 200 na 500 l/s, čime će se osigurati maksimalna autonomnost otočnog vodoopskrbnog sustava u odnosu na kopno.

Kod odabira kote krune brane se, osim volumenu akumulacijskoga jezera, posebna pozornost posvetila kvaliteti vode. Projektom se planira nadvišenje postojeće brane kojim će se voda u postojećoj akumulaciji Ponikve podići s današnje kote normalnoga uspora 19,14 m n. m. na kotu 24,00 m n. m., čime će se površina akumulacije povećati s 0,75 km² na 1,09 km², a njezin volumen s 2 na 7 milijuna m³. Sve to će znatno utjecati na trofička obilježja akumulacije, odnosno doći će do značajnog usporavanja procesa eutrofikacije i lakšeg održavanja dobrog ekološkog potencijala jezera, što će posljedično osigurati zadržavanje i / ili poboljšanje kakvoće podzemnih voda neovisno o pojačanom crpljenju. Zbog veće dubine akumulacija će se sastojati od površinskog osvijetljenog (produktivnog) i pridnenog neosvijetljenog sloja u kojem će doći do razgradnje organskog materijala nastalog u površinskom sloju. Također će se uspostaviti i termička slojevitost, odnosno formirat će se i termoklina, srednji sloj vode koji će spriječiti ljetno miješanje cijelog stupca vode te time onemogućiti donos nutrijenata u površinski sloj.

Povećanje volumena akumulacije umanjiti će utjecaj evapotranspiracije na količinu i kvalitetu zadržanih količina u slučaju produljenja sušnog perioda odnosno rasta i / ili duljeg zadržavanja visokih temperatura tijekom ljeta.

7. REZERVNI IZVOR DOBAVE VODE

Uz unapređenje postojećih i raspoloživih izvora / vodozahvata vode koje će JIVU Ponikve Voda d.o.o. omogućiti autonomiju s aspekta raspoloživih količina tijekom cijele godine, a za slučaj da se utjecaj klimatskih promjena nepovoljno odrazi na rezerve vode na otoku, potrebno je uspostaviti rezervni izvor / smjer dobave vode za vodoopskrbni sustav Krk.

Otpornost na klimatske promjene u slučaju duljih sušnih razdoblja potražila se u povećanju sigurnosti i raspoloživih količina dobave od KD Vodovod i Kanalizacija d.o.o. Rijeka, odnosno u rekonstrukciji i dogradnji dobavnog pravca s kopna. Samo tehničko rješenje rezervnog smjera dobave uključuje rekonstrukciju glavnog dobavnog čeličnog cjevovoda DN 500 u duljini od oko 6,45 km od zasunske komore na kopnu do vodospremnika VS Bijeli Rezervoar te interpolaciju procrpne stanice CS Kopno maksimalnog kapaciteta $Q = 320$ l/s i visine dizanja $H = 76$ m kojom će se u slučaju nedostatka vode na vodozahvatima II. faze podsustava Ponikve potrebne količine moći dobiti i transportirati do u tom slučaju centralnog vodospremnika za južni dio otoka VS Lubenovo.

Prednost ovog rješenja pred nekim drugim investicijama kao što je desalinizacija su značajno manji investicijski troškovi i troškovi pogona i održavanja, relativno lako

pokretanje transportnog sustava u trenutku potrebe te fleksibilnost tehničkih elemenata dobavnog pravca (cjevovodi i crpna stanica) u odnosu na varijacije potrebnih količina.

ZAKLJUČAK

Predvidljivo povećanje potrošnje vode u ljetnom periodu na otoku Krku prati konstantno smanjenje vodnih gubitaka u sustavu, koje u novije vrijeme doseže razine pri kojima je potrebno procijeniti ekonomsku opravdanost daljnjih poboljšanja. Negativan utjecaj klimatskih promjena na slivnom području akumulacije Ponikve očituje se u nedovoljnim količinama oborina kad su potrebe za vodom najveće, što rezultira smanjenjem dubine vode u ionako plitkoj akumulaciji i vodozahvatu. Kada razina vode u akumulaciji opada dolazi do zagrijavanja vode i pogoršanja njene kvalitete. Istovremeno, količine raspoložive za dobavu s kopna tijekom ljeta su ograničene i variraju tijekom godina te stoga ne predstavljaju dugoročno adekvatno rješenje.

Sve navedeno pred JIVU Ponikve Voda d.o.o. postavlja izazov osiguravanja dovoljnih količina zdravstveno ispravne vode za piće uz maksimalnu autonomnost vodoopskrbnog sustava na otoku u vrijeme turističke sezone.

Izraženiji prosječni mjesečni kišni ekstremi koji se kao posljedica klimatskih promjena javljaju u kasno - jesenskom i rano - zimskom razdoblju rezultiraju dotjecanjem većih količina vode koje premašuju kapacitet postojeće akumulacije te dolazi do prelijevanja brane. Kako bi se količine raspoložive u tom periodu zadržale u akumulaciji i iskoristile u sušnom, ljetnom razdoblju nužno je povećati kapacitet akumulacije odnosno podignuti kotu brane Ponikve. Povećanjem dubine akumulacije pozitivno će se utjecati na količine vode, ali i na njenu kvalitetu, čime će se smanjiti potrebe za dodatnim kondicioniranjem vode.

Otpornost na klimatske promjene u slučaju duljih sušnih razdoblja na otoku koja bi mogla negativno utjecati na količine dotoka u akumulaciju postiže se rekonstrukcijom i dogradnjom dobavnog pravca s kopna. Tehničko rješenje uključuje rekonstrukciju glavnog dobavnog cjevovoda i interpolaciju crpne stanice.

LITERATURA

- [1] Žugaj, R., Turčinov Mikulec, A. Štefanek, Ž., Žrvnar, B. (2017): *Analiza izgradnje II. faze akumulacije Ponikve na Krku u svjetlu klimatskih promjena*, Hidroinženjering d.o.o., Zagreb
- [2] Žrvnar, B., Štefanek Ž., Kotaran Munda M., Vuletić G., Prelogović E., Milostić M., Peternel H., Kušan V., Mihulja A., Škalfa I., Kušan T., Novak N., Kerovec M., Hršak V., Mihaljević Z., Ternjej I. (2009): *Studija utjecaja na okoliš Vodoopskrbni sustav Krka Podsustav Ponikve - II. faza*, Hidroinženjering d.o.o., Oikon d.o.o., Biološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

AUTORI

Berislav Bohatka, dipl. ing. ^a

Silvio Giorgolo, ing. el. ^b

Tamara Vrkić Šivolija - Jelica, dipl. ing. građ. ^b

mr.sc. Ivica Plišić, dipl. ing. građ. ^b

^a Via Factum d.o.o., Ulica Donje Svetice 46c, Zagreb 10000, Hrvatska,
berislav.bohatka@viafactum.hr

^b Ponikve voda d.o.o., Vršanska 14, Krk, Hrvatska,
silvio.giorgolo@ponikve.hr, tamara.vrkic@ponikve.hr, ivica.plisic@ponikve.hr



R 3.04.

ALTERNATIVNI IZVORI VODE KAO MJERA JAČANJA OTPORNOSTI NA KLIMATSKE PROMJENE

Alena Vlašić, Siniša Širac

SAŽETAK: Kako su vodni resursi temeljni elementi kvalitete života, gospodarstva i turizma, potrebno je njima sustavno i odgovorno upravljati, a posebno u složenim klimatskim uvjetima. Prema Nacionalnoj razvojnoj strategiji Republike Hrvatske do 2030. godine intenzivirat će se projekti za jačanje otpornosti na klimatske promjene u vodoopskrbi i upravljanju otpadnim vodama. Buduća situacija s održivim vodnim resursima u osnovi će ovisiti o stanju obnove vodnih resursa, na što će djelovati klimatske promjene i onečišćenje, kao i o pritisku na zahvaćanje vode koji ovisi o korištenju voda, turizmu, rastu broja stanovnika i razvoju industrije. Najvažnije nacionalne strategije kao i europska regulativa razvili su mjere i postupke za jačanje otpornosti na klimatske promjene koje se odnose na mogućnost korištenja alternativnih izvora vode. U alternativne izvore voda ubrajaju se korištenje voda dobivenih desalinizacijom bočate i morske vode te ponovna upotreba voda. Izvješće EU o razvoju plavog gospodarstva naglašava kontinuirani razvoj desalinizacije kao ključnog elementa preobrazbe europskog gospodarstva u pravednije, otpornije i održivije za buduće generacije. Uredba EU o minimalnim zahtjevima za ponovnu upotrebu vode promiče kružno gospodarstvo, podupire prilagodbu na klimatske promjene i doprinosi ciljevima Okvirne direktive definiranjem minimalnih zahtjeva u pogledu kvalitete vode i praćenja te odredbi o upravljanju rizicima i o sigurnoj upotrebi obrađene vode u kontekstu integriranog upravljanja vodama. Učinkovito uključivanje javnosti, sudjelovanje zajednice tijekom cijelog projektnog ciklusa i odgovarajuća edukacija o korištenju alternativnih izvora vode su ključni element. U radu se daje pregled najvažnijih nacionalnih strategija kao i europskih regulativa prema kojima se razvijaju mjere i postupci za jačanje otpornosti na klimatske promjene koje se odnose na mogućnost korištenja alternativnih izvora vode. Cilj ovog rada je istražiti mogućnosti šire primjene alternativnih izvora vode u Republici Hrvatskoj.

KLJUČNE RIJEČI: Alternativni izvori vode, Klimatske promjene, Vodno gospodarstvo, Desalinizacija, Ponovna upotreba vode, Direktive, Kružno gospodarstvo

ALTERNATIVE SOURCES OF WATER AS A MEASURE TO STRENGTHEN RESILIENCE TO CLIMATE CHANGE

ABSTRACT: As water resources are the basic elements of the quality of life, economy, and tourism, they have to be managed consistently and responsibly, in particular under complex climate conditions. According to the National Development Strategy of the Republic of Croatia until 2030, projects to strengthen resilience to climate change in water supply and wastewater management will intensify. The future situation with sustainable water resources will basically depend on the status of renewal of water resources, which will be affected by climate change and pollution, as well as on the pressure to water abstraction, which depends on water use, tourism, population growth, and industrial development. The most important national strategies and European legislation have developed measures and procedures to strengthen resilience to climate change that refer to the possibility of using alternative sources of water. Alternative sources of water include the use of water obtained from desalination of brackish water and seawater, and water reuse. The EU Blue Economy Report stresses continuous development of desalination as the key element to transform European economy into more fair, resilient and sustainable for future generations. The EU Regulation on minimum requirements for water reuse promotes circular economy, supports climate change adjustment, and contributes to the objectives of the Water Framework Directive by defining minimum requirements for water quality and monitoring and provisions on risk management and safe use of treated water in the context of integrated water management. Efficient inclusion of the public, the community taking part throughout the project cycle, and adequate education about the use of alternative sources of water are the key element. The paper presents the most important national strategies and European legislation based on which measures and procedures are developed to strengthen climate change resilience concerning the possibility of using alternative sources of water. The objective of the paper is to investigate the possibilities for a wider application of alternative sources of water in Croatia.

KEYWORDS: Alternative sources of water, Climate change, Water management, Desalination, Water reuse, Directives, Circular economy

1. UVOD

Vodni resursi pod sve većim su opterećenjem, što za posljedicu ima nestašicu vode i pogoršanje njezine kvalitete. Posebno klimatske promjene, nepredvidivi vremenski obrasci i suše znatno doprinose pritisku na raspoloživost slatke vode koji je uzrokovao urbanim razvojem i poljoprivredom. Klimatske promjene u Europi zadnjih godina manifestiraju se kroz niz poplava i suša. Očekuje se da će se zbog klimatskih promjena smanjiti raspoloživost vode i povećati zahvaćanje vode za navodnjavanje u mediteranskim područjima. Suše imaju važan utjecaj na regionalno gospodarstvo, okoliš i kvalitetu života. Mogu dovesti do gubitaka u poljoprivredi, što negativno djeluje na slatkovodne ekosustave i uzrokuje izumiranje biljnih i životinjskih vrsta. I na kraju, ali ništa manje važno, suša dovodi do problema s opskrbom vodom. Danas u više zemalja Mediterana ima predjela u kojima zahvaćanje voda narušava održivost vodnih resursa i okoliš, a takvo bi se stanje u budućnosti moglo lako pogoršati. Narušavanje okoliša utječe na smanjivanje biološke raznolikosti, pojavu bolesti, ugrožavanje opstanka i bogatstva staništa

i šuma, onečišćavanje voda, mora i zraka te gubitak plodnog tla. Kako je voda temeljni prirodni i strateški resurs, očuvanje vodnih resursa hidrološki je odgovor na taj problem. U skladu s tim, održivi razvoj vodnih resursa zahtijeva poštivanje hidrološkog ciklusa tako da se kapacitet obnovljivih vodnih resursa ne smanji nakon dugotrajnog korištenja. Za održivost vodnog sustava nužna je ravnoteža između ponude i potražnje za vodom. U područjima gdje postoji nedostatak vode za ukupne potrebe jedno od rješenja može biti korištenje alternativnih izvora vode, uz naravno optimizaciju korištenja postojećih resursa. Na otocima i u priobalnim područjima, korištenje alternativnih izvora vode u skladu je s gospodarenjem vodama prema načelima održivog razvoja, a istovremeno je jedna od mjera očuvanja i poboljšanja kakvoće mora. U radu se daje pregled najvažnijih nacionalnih strategija kao i europskih regulativa prema kojima se razvijaju mjere i postupci za jačanje otpornosti na klimatske promjene koje se odnose na mogućnost korištenja alternativnih izvora vode. Cilj ovog rada je istražiti mogućnosti šire primjene alternativnih izvora vode u Republici Hrvatskoj.

2. STRATEGIJE, NACIONALNA I EUROPSKA REGULATIVA

2.1. Nacionalne strategije

Prema Strategiji nacionalne sigurnosti Republike Hrvatske (Narodne novine, broj 73/17) klimatske promjene su »sigurnosna prijetnja, rizik i izazov za Republiku Hrvatsku« te prepoznaje stvaranje Ekološke Hrvatske kao jedan od glavnih strateških ciljeva.

Budući da klimatske promjene imaju potencijal uzrokovati značajne štete za ljudsko zdravlje, fizičke objekte i gospodarske aktivnosti, naročito u poljoprivredi, ribarstvu, bioraznolikosti, turizmu, prometu, proizvodnji električne energije, Nacionalna razvojna strategija Republike Hrvatske do 2030. godine (Narodne novine, broj 13/21) krovni je dokument i sveobuhvatni akt strateškog planiranja kojim se dugoročno usmjerava razvoj društva i gospodarstva u svim navedenim važnim pitanjima za Hrvatsku.

U cilju učinkovitijeg upravljanja vodnim resursima i prilagodbi naših sustava na klimatske promjene, u Strategiji prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (Narodne novine, broj 45/20) kao mjera visoke važnosti vezano za jačanje otpornosti urbanih područja na antropogene pritiske uvjetovane klimatskim promjenama uvrštena je analiza mogućnosti ponovne upotrebe pročišćenih otpadnih i oborinskih voda te izrada plana racionalizacije korištenja voda u uvjetima povećanih potreba zbog klimatski nepovoljnijih hidroloških prilika. Kao smjernicu za niskouglični razvoj do 2030. godine Strategija niskougličnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu (Narodne novine, broj 63/21) navodi da je potrebno analizirati mogućnosti za korištenje pročišćenih otpadnih voda za navodnjavanje poljoprivrednih površina.

Jedan od glavnih ciljeva Strategije održivog razvitka Republike Hrvatske (Narodne novine, broj 30/09) je osigurati tijekom planiranja gospodarskih djelatnosti, a osobito eksploatacijskih zahvata, racionalno korištenje neobnovljivih prirodnih dobara te održivo korištenje obnovljivih prirodnih izvora. Na području zaštite mora i otoka glavni su ciljevi promicanje održivog gospodarenja Jadranskim morem, obalom i otocima te očuvanje morskih ekosustava smanjivanjem unosa otpadnih voda u more iz svih izvora onečišćenja. Polazeći od koncepta održivog razvoja Nacionalna strategija zaštite okoliša s Nacional-

nim planom djelovanja za okoliš (Narodne novine, broj 46/02) zalaže za uvođenje zaštite okoliša u sve druge strateške planove Republike Hrvatske i, posljedično, integraciju zaštite okoliša u sve sektorske segmente.

Prema Strategiji upravljanja vodama (Narodne novine, broj 91/08) održivo korištenje osvarit će se i ponovnim korištenjem pročišćenih otpadnih voda za navodnjavanje. Strategija upravljanja vodama posebnu pozornost posvećuje racionalnijem korištenju voda na otocima. Temeljni cilj vodnoga gospodarstva, utvrđen Strategijom upravljanja vodama je osiguranje održivog korištenja voda koje će se ostvariti i kroz analizu mogućnosti ponovne upotrebe pročišćenih otpadnih i oborinskih voda.

Strategija razvoja održivog turizma do 2030. godine (Narodne novine, broj 2/23) akt je strateškog planiranja koji služi za oblikovanje i provedbu razvojnih turističkih politika te je usklađen s nacionalnim i europskim politikama vezanim za turizam i opći gospodarski i društveni razvoj.

2.2. Nacionalna regulativa

Temeljni dokument kojim se osigurava cjelovito očuvanje kakvoće okoliša te biološke i krajobrazne raznolikosti, racionalno korištenje prirodnih dobara i energije na najpovoljniji način za okoliš, kao osnovni uvjet zdravog života i temelj održivog razvoja je Zakon o zaštiti okoliša (Narodne novine, br. 80/13, 153/13, 78/15, 12/18 i 118/18).

U razvojnoj domeni Okoliš i prostor Nacionalnog plana razvoja otoka 2021. - 2027. poseban je naglasak na vodoopskrbi i odvodnji; gospodarenju otpadom; zaštiti prirode i okoliša; čistoj energiji, energetici, obnovljivim izvorima energije te prilagodbi klimatskim promjenama i ublažavanju njihova utjecaja.

Zakonom o vodama (Narodne novine, br. 66/19, 84/21 i 47/23) uređuju se pravni status voda, vodnoga dobra i vodnih građevina, upravljanje kakvoćom i količinom voda, zaštita od štetnog djelovanja voda, detaljna melioracijska odvodnja i navodnjavanje, posebne djelatnosti za potrebe upravljanja vodama, institucionalni ustroj obavljanja tih djelatnosti i druga pitanja vezana za vode i vodno dobro.

Zakon o vodnim uslugama (Narodne novine, broj 66/19), kao djelatnost javnih isporučitelja usluga, propisuje i isporuke vode pročišćene na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda u svrhu ponovnog korištenja, uključujući i prodaju.

U odredbi Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (Narodne novine, broj 26/20), pročišćene otpadne vode ponovno se koriste kad god je moguće (prikladno) uz uvjet da se minimaliziraju štetni učinci na okoliš na način utvrđen odgovarajućim vodopravnim aktom.

U Odluci o zonama sanitarne zaštite izvorišta vode za piće u Istarskoj županiji od 28. veljače 2005. navodi se da će se sanitarne i tehnološke otpadne vode rješavati izgradnjom sustava javne odvodnje s drugim stupnjem pročišćavanja, a gdje nema tehničke ni ekonomske opravdanosti otpadne vode pročišćavati na vlastitom uređaju drugog ili odgovarajućeg stupnja pročišćavanja s ispuštanjem u podzemlje putem upojnog bunara ili drenaže odnosno ponovno koristiti za tehnološku vodu ili za potrebe navodnjavanja.

2.3. Europska regulativa

Mediteranska strategija održivog razvoja (2005) usmjerena je na integriranje okolišnih interesa u ključne sektore gospodarskog razvoja, uzimajući u obzir socijalne i kulturne dimenzije. Količine zahvaćanja moraju biti održive kako bi se osiguralo upravljanje i zaštita vodnih resursa i s njima povezanih ekosustava. Održivo korištenje nacionalnih vodnih resursa podrazumijeva da godišnja količina zahvaćene vode ne smije premašiti određeni udio godišnjih obnovljivih vodnih resursa.

Cilj Okvirne direktive o vodama EU-a (2000) jest sprečavanje daljnje degradacije voda, zaštita i poboljšanje stanja ekosustava i uspostava sustava održivog korištenja voda temeljeno na dugoročnoj zaštiti vodnih resursa. Ovom se direktivom državama članicama omogućuje potrebna fleksibilnost za uključivanje dopunskih mjera u programe mjera koje donose kako bi se poduprli njihovi napori za postizanje ciljeva u pogledu kvalitete vode utvrđenih istom direktivom. Popis dopunskih mjera iz dijela B Priloga VI. Direktive sadržava, među ostalim, mjere za ponovnu upotrebu vode te za korištenje postupaka desalinizacije.

Predstojećim preispitivanjem Direktive o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEZ), u sinergiji s evaluacijom Direktive o mulju iz otpadnih voda, pridonijet će se podizanju razine ambicije za uklanjanje hranjivih tvari iz otpadnih voda i pripremu pročišćene vode i mulja za ponovnu uporabu, čime se podupire kružna poljoprivreda s manje onečišćenja. U tom kontekstu, i u skladu s hijerarhijom mjera koje bi države članice mogle razmotriti pri upravljanju nestašicom vode i sušama te kojom se potiču mjere od štednje vode do politike određivanja cijene vode i alternativnih rješenja, te uzimajući u obzir dimenziju troškova i koristi, trebalo bi primjenjivati minimalne zahtjeve za ponovnu upotrebu vode, kako su utvrđeni Uredbom o minimalnim zahtjevima za ponovnu upotrebu vode, kada god se pročišćene komunalne otpadne vode iz uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda ponovno upotrebljavaju, a u skladu s ovom Direktivom, za navodnjavanje poljoprivrednih površina.

Uredbom 2020/741 Europskog parlamenta i vijeća od 25. svibnja 2020. o minimalnim zahtjevima za ponovnu upotrebu vode utvrđuju se minimalni zahtjevi u pogledu kvalitete vode i praćenja te odredbe o upravljanju rizicima i o sigurnoj upotrebi obrađene vode u kontekstu integriranog upravljanja vodama. Svrha je ove Uredbe zajamčiti da je obrađena voda sigurna za navodnjavanje poljoprivrednih površina, čime se osigurava visoka razina zaštite okoliša te zdravlja ljudi i životinja, promiče kružno gospodarstvo, podupire prilagodba na klimatske promjene i doprinosi ciljevima Okvirne direktive tako što se na koordiniran način u cijeloj Uniji pristupa rješavanju pitanja nestašice vode i pritiska na vodne resurse koji iz toga proizlazi, a time i doprinosi učinkovitom funkcioniranju unutarnjeg tržišta.

3. KLIMATSKE PROMJENE I ODRŽIVO KORIŠTENJE RESURSA

Očekuje se da će se zbog klimatskih promjena smanjiti raspoloživost vode i povećati zahvaćanje vode za navodnjavanje u mediteranskim područjima. Suše imaju važan utjecaj na regionalno gospodarstvo, okoliš i kvalitetu života. Mogu dovesti do gubitaka u poljoprivredi, što negativno djeluje na slatkovodne ekosustave i uzrokuje izumiranje biljnih i životinjskih vrsta. I na kraju, ali ništa manje važno, suša dovodi do problema s

opskrnom vodom. Danas u više zemalja Mediterana ima predjela u kojima zahvaćanje voda narušava održivost vodnih resursa i okoliš, a takvo bi se stanje u budućnosti moglo lako pogoršati. Očuvanje vodnih resursa hidrološki je odgovor na taj problem. Korištenje pročišćenih otpadnih voda važna je sastavnica strategije očuvanja vodnih resursa. Mogu se provoditi i druga rješenja, kao što je štednja vode (smanjenje gubitaka iz vodoopskrbnih mreža te korištenje učinkovitijih tehnika navodnjavanja kao što su navodnjavanje kap po kap) te korištenje drugih alternativnih izvora, kao što je desalinizacija morske ili bočate vode. Buduća situacija s održivim vodnim resursima u osnovi će ovisiti o stanju obnove vodnih resursa, na što će djelovati klimatske promjene i onečišćenje, kao i o pritisku na zahvaćanje vode koji ovisi o korištenju voda, turizmu, rastu broja stanovnika i razvoju industrije. Vodni resursi Unije pod sve su većim opterećenjem, što za posljedicu ima nestašicu vode i pogoršanje njezine kvalitete. Suša je pojava koja ne pogađa samo zemlje južne Europe, no predviđa se da će zemlje južne Europe zbog klimatskih promjena biti teže pogođene sušama. Zapravo, sušne regije južne Europe najosjetljivije su na učinke klimatskih promjena. Prema Strategiji prilagodbe klimatskim promjenama kao mjera visoke važnosti vezano za jačanje otpornosti urbanih područja na antropogene pritiske uvjetovane klimatskim promjenama prepoznate su sljedeće aktivnosti:

- izrada plana racionalizacije korištenja voda u uvjetima povećanih potreba zbog klimatski nepovoljnijih hidroloških prilika,
- analiza mogućnosti ponovne upotrebe pročišćenih otpadnih i oborinskih voda,
- analiza primjene vodoopskrbnih sustava niže kakvoće za sekundarno korištenje voda i smanjenje pritiska na vodne resurse pitkih voda,
- analiza mogućnosti izgradnje zahvata za povećanje korištenja kišnice,
- analiza mogućnosti izgradnje uređaja za desalinizaciju zaslanjenih voda (bočate vode, a izuzetno i more).

4. MOGUĆNOST KORIŠTENJA PROČIŠĆENIH OTPADNIH VODA

Postoje razne tehnologije pročišćavanja koje manje ili više uspješno pročišćavaju otpadne vode za potrebe navodnjavanja, kao i u druge svrhe poput zalijevanja zelenih površina, rekreacijskih zona, kampova, pranja javnih gradskih površina te kao tehnološka voda unutar postrojenja. Budući da je na području Iste izgrađen i u izgradnji veći broj uređaja za pročišćavanje otpadnih voda za koje je predviđena ponovna upotreba vode u svrhu navodnjavanja gradskih zelenih površina, u nastavku je dan prikaz nekoliko primjera.

4.1. Veliki infrastrukturni projekti sufinancirani sredstvima EU

U Poreču su izgrađena 4 uređaja s membranskom tehnologijom pročišćavanja otpadnih voda. Ukupni kapacitet obrade otpadne vode svih uređaja za pročišćavanje je 137.500 ekvivalent stanovnika (ES). Radi se o najsuvremenijim uređajima koji kroz ultrafiltraciju na membranama te dodatnom UV dezinfekcijom postižu najviši III. stupanj pročišćavanja otpadnih voda. Ne samo da se na taj način čuva okoliš i naš najvrjedniji resurs - more, već će se voda moći ponovno koristiti za zalijevanje zelenih površina i druge javne potrebe, a u svrhu zaštite vodnih resursa. Otpadna voda se pročišćava do stupnja da je prikladna za navodnjavanje zelenih i poljoprivrednih površina te sportskih terena, za pranje ulica i drugih sličnih aktivnosti i djelatnosti. Zbog izvanredne situacije u vodoopskrbi i uvedene

mjere redukcije korištenja pitke vode I. stupnja, tijekom ljetnih mjeseci (srpanj i kolovoz) 2022., Odvodnja Poreč obavijestila je građane i sve zainteresirane o mogućnosti korištenja pročišćene tehničke vode sa uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Pročišćena voda distribuirala se najviše turističkom sektoru, komunalnim i sportskim društvima a koristila se za zalijevanje sportskih terena (teniskih, nogometnih, golf), u hortikulturi (zalijevanje ukrasnog bilja) te javnih površina.



Slika 1. (slijeva nadesno): UPOV Poreč - jug (48.000 ES), UPOV Poreč - sjever (37.000 ES), UPOV Lanterna (30.000 ES), UPOV Vrsar (22.500 ES) (Izvor: „Studija ocjene i praćenja učinkovitosti provedbe projekta izgradnje kanalizacijske mreže i analize učinkovitosti rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u Gradu Poreču” Proning DHI, IHE Delft Foundation Nizozemska, IMDC Belgija, Ruđer Bošković Zagreb i PBF Zagreb, 2022.)

Projekt prikupljanja, odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda na području aglomeracije Rovinj predvidio je ponovnu upotrebu pročišćene vode čime se postiže učinkovito upravljanje vodnim resursima na području Istre. Izgrađen je uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Cuvi, kapaciteta od 63.000 ES, MBR tehnologije te tlačni distributivni cjevovodi za navodnjavanje korištenjem pročišćenog efluenta. Otpadne vode prije ponovnog korištenja proći će kroz dodatni UV tretman te će se zatim odvoditi povratnim vodom do zelenih površina za navodnjavanje. Time se pozitivno utječe na održivost resursa pitke vode na području Istarske županije koja je jedno od rijetkih područja unutar Republike Hrvatske koja danas ima poteškoća s raspoloživosti vode (tijekom sušnih godina u vrhu turističke sezone). Ponovno korištenje vode ima pozitivan utjecaj na potencijalne efekte klimatskih promjena smanjenjem korištenja podzemnih resursa i smanjenjem infiltracije morske vode.

EU Projekt Poboljšanje sustava odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda u aglomeracijama Umag - Savudrija - Novigrad Istarski prema kojem je planirana izgradnja novog postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda III. stupnja pročišćavanja na lokaciji „Umag jug“, kapaciteta 59.000 ES sa modulom za dodatni tretman efluenta za ponovnu upotrebu vode i nadogradnja postojećeg postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda sa I. stupnja na III. stupanj pročišćavanja „Novigrad“, kapaciteta 30.000 ES sa modulom za dodatni tretman efluenta za ponovnu upotrebu vode.

U Studiji izvedivosti za Aglomeraciju Labin - Raša - Rabac (2020) navodi se da obzirom na visoki stupanj obrade vode primjenom MBR tehnologije, uputno je razmotriti i mogućnost ponovne uporabe obrađene vode (zalijevanje zelenih površina, tehnološka voda, pranje ulica i sl.). Planirani uređaj za pročišćavanje otpadnih voda kapaciteta je 20.100 ES.

4.2. Pregled nekih od malih uređaja

Na lokaciji općine Bale izgrađen je uređaj za pročišćavanje otpadnih voda kapaciteta 750 ES membranske tehnologije. Tijekom ljetnih mjeseci 2022. izrazito sušne godine, zbog izvanrednih okolnosti i uvođenja mjera redukcije pitke vode, svi zainteresirani građani sa područja Općine Bale imali su mogućnosti korištenja pročišćene tehničke vode sa uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Bale. Voda na uređaju se pročišćava do stupnja da je prikladna za navodnjavanje zelenih i poljoprivrednih površina, sportskih terena te za pranje ulica i drugih sličnih aktivnosti i djelatnosti.

Sustav javne odvodnje izgrađen je na području općine Kanfanar s uređajem za pročišćavanje otpadnih voda u industrijskoj zoni Burići. Prikupljaju se otpadne vode Istragrafike d.d., Tvornice duhana Rovinj i dio stambenih objekata na području Burića i Kanfanara. Otpadne vode se pročišćavaju na MBR uređaju, kapaciteta 1900 ES. Voda služi za zalijevanje zelenila u krugu uređaja.

Na otočiću Sveti Andrija, 2006. godine izgrađen je membranski bioreaktor, kapaciteta 300 m³/dan što odgovara potrošnji vode 1.500 osoba. Tako se riješio problem pročišćavanja otpadnih voda iz hotelskog naselja a dobile se velike količine vode za korištenje za zalijevanje zelenih površina, zalijevanje sportskih terena, protupožarnu zaštitu i sanitarne potrebe.

Ostali primjeri su: Sveti Lovreč 2 x 200 ES, Oprtalj 2 x 200 ES, Lovinac 2 x 300 ES, Vrhovine 2 x 600 ES, Prhati 2 x 200 ES, Istraturist d.d., Umag - MBR uređaj za pročišćavanje otpadnih voda AC Ladin Gaj - 16.000 ES, Gračišće - 260 ES.

Istarska županija raspolaže instaliranim kapacitetima od 255.315 ES (55.315 ES kapaciteta zbrojenih malih uređaja + EU Projekti Poreč i Rovinj) s MBR tehnologijom pročišćavanja. Izgradnjom uređaja, po implementaciji svih planiranih projekata Istarska županija će raspolagati s približno 370.000 ES kapaciteta MBR uređaja.

5. MOGUĆNOST PRIMJENE DESALINIZACIJE

Vodoopskrba je svakako jedan od najvažnijih faktora održivoga razvoja turizma, pogotovo na otocima. U vrijeme sezonskog povećanja stanovništva, česte su situacije da su to i razdoblja minimalne ili niske obnove prirodnih resursa. Suše imaju važan utjecaj na regionalno gospodarstvo, okoliš i kvalitetu života. Mogu dovesti do gubitaka u poljo-

privredi i problema s opskrbom vodom. Očekuje se da će se zbog klimatskih promjena smanjiti raspoloživost vode i povećati zahvaćanje vode za navodnjavanje u mediteranskim područjima. Veliki i kopnu bliži otoci uglavnom su povezani podmorskim cjevovodima na krške izvore na kopnu. U posebno su nepovoljnom položaju površinom manji i od kopna udaljeniji otoci zbog nedovoljno razvijene infrastrukture, što je razlog pojačane depopulacije. Razvojem turizma na navedenim otocima dolazi do velike razlike u potražnji za vodom u ljetnom i zimskom periodu. Kako su vodni resursi temeljni elementi kvalitete života, gospodarstva i turizma, potrebno je njima sustavno i odgovorno upravljati, pa tako i u složenim klimatskim uvjetima osigurati potrebne količine vode pogotovo u razdoblju turističke sezone. Taj vrlo specifičan problem zahtijeva posebnu infrastrukturu i strategiju upravljanja vodnim resursima, koja se može suočiti s navedenom situacijom. Zato je od izuzetne važnosti dobro planiranje vodnih resursa na otocima u skladu s potrebama turizma, a i prilagođavanje strategije razvoja turizma s obzirom na raspoloživost vodnih resursa. U turističkim područjima zbog očekivanog povećanja broja turista i postizanja više kategorije turističkih usluga očekuje se povećanje potreba za vodom. Sezonski tip turizma otežava rješavanje problematike javne vodoopskrbe zbog velikih razlika u sezonskoj i izvansezonskoj potrošnji vode. Izvješće EU-a o razvoju plavog gospodarstva naglašava kontinuirani razvoj desalinizacije kao ključnog područja u nastajanju unutar plavog gospodarstva. Klimatske promjene negativno utječu na dostupnost slatke vode i desalinizacija je spremna pružiti rješenje za ovu nadolazeću krizu. Danas je desalinizacija primjenjiva metoda osiguranja potrebnih količina vode u mnogim područjima, a posebno na otocima koje karakterizira oskudica vode u ljetnim mjesecima, kada je ujedno i najveća potreba za njom, kako za turizam tako i za poljoprivredu. Brzina gradnje, modularnost sukladna gospodarskom razvoju te znatno niži investicijski troškovi stavljaju proces desalinizacije u prioritetni položaj, ukoliko nema vlastitih vodnih resursa koje je moguće koristiti bez negativnih posljedica po okoliš. Problem opskrbe svojih otoka pitkom vodom postupcima desalinizacije rješavaju i ostale mediteranske zemlje: Grčka, Španjolska, Malta i Italija. Prema njihovim iskustvima već sada se pokazala dugoročna održivost primjene ovih inovacija u novim i postojećim postrojenjima za desalinizaciju uz korištenje obnovljivih izvora energije, pomažući tako osigurati održivu budućnost u kojoj su dostupnost vode i zaštita okoliša jedno te isto. Sredstva kohezijske politike koristit će se u svojem dosad najvećem iznosu za daljnje jačanje gospodarstva, potporu zelenoj tranziciji, koja će ublažiti utjecaj energetske i klimatske izazova na gospodarstvo i društvo u cjelini, s velikim naglaskom na sela i otoke.

U Hrvatskoj je nekoliko primjera korištenja vode dobivene postupkom desalinizacije i to na otocima. Na otoku Unije obrađuje se bočata voda na uređaju za desalinizaciju kapaciteta 4 m³/h. Otok Susak koristi vodu dobivenu postupkom desalinizacije morske vode na uređaju kapaciteta 8 m³/h. Na otoku Krku postoje dva postrojenja za desalinizaciju bočate vode u Staroj Baški kapaciteta 5 m³/h i 25 m³/h.

Na lokaciji Veliko Čelo kod Poveljane nalazi se postrojenje za desalinizaciju bočate vode kapaciteta 104 m³/h.

Analiza mogućnosti šire primjene postupka desalinizacije pokazala je da Studija izvedivosti za EU projekt Razvoj sustava vodoopskrbe Vodovoda d.o.o. Zadar predviđa rješavanje vodoopskrbe otoka Olib, Premuda i Sliba putem desalinizatora i to: Olib, uređaj kapaciteta Q = 4 m³/h, Premuda, uređaj kapaciteta Q = 12 m³/h i Silba, uređaj

kapaciteta $Q = 12 \text{ m}^3/\text{h}$. Postoji i ideja za ugradnju uređaja za desalinizaciju kod crpilišta Vrčići na Pagu kapaciteta ukupno $173 \text{ m}^3/\text{h}$. Potrebno je izraditi projektnu dokumentaciju. Jedan primjer na obalnom području je da je izrađena projektna dokumentacije za vodoopskrbu naselja Doli (dubrovačko područje) putem uređaja za desalinizaciju iz dvije bušotine koje imaju kapacitet do $29 \text{ m}^3/\text{h}$ sirove vode, odnosno nakon desalinizacije $18 \text{ m}^3/\text{h}$. Zbog velike udaljenosti naselja Porozina na otoku Cresu od postojećeg javnog vodoopskrbnog sustava Grada Cresa, vodoopskrba naselja predviđena je kao samostalni sustav uz izgradnju uređaja za desalinizaciju morske vode planiranog kapaciteta $5,25 \text{ m}^3/\text{h}$. Iz istog razloga, izrađen je projekt i za naselje Beli na istom otoku koji predviđa samostalni sustav i izgradnju uređaja za desalinizaciju morske vode kapaciteta $3,3 \text{ m}^3/\text{h}$.

ZAKLJUČAK

Suša je pojava koja ne pogađa samo zemlje južne Europe, no predviđa se da će zemlje južne Europe zbog klimatskih promjena biti teže pogođene sušama. Zapravo, sušne regije južne Europe su najosjetljivije na učinke klimatskih promjena. Očekuje se da će se zbog klimatskih promjena smanjiti raspoloživost vode i povećati zahvaćanje vode za navodnjavanje u mediteranskim područjima. Republika Hrvatska izložena je visokim rizicima povezanim s klimatskim promjenama koje sve više postaju prijetnja i izazov. Osobito osjetljivi sektori na klimatske promjene, koje se očituju kao ekstremne vrućine, suše i oborine, jesu vodno gospodarstvo, poljoprivreda, šumarstvo, energetika i turizam. Klimatske promjene dugoročno će intenzivirati podizanje razine mora, pojavu dugotrajnih suša te smanjenje izvora pitke vode. Promjena klime može znatno brže utjecati na turizam nego na druge gospodarske aktivnosti.

Kako su vodni resursi temeljni elementi kvalitete života, gospodarstva i turizma, potrebno je njima sustavno i odgovorno upravljati pa tako i u složenim klimatskim uvjetima osigurati potrebne količine vode pogotovo u razdoblju turističke sezone. U turističkim područjima se zbog očekivanog povećanja broja turista i postizanja više kategorije turističkih usluga očekuje povećanje potražnje za vodom. U vrijeme sezonskog povećanja stanovništva, česte su situacije da su to i razdoblja minimalne ili niske obnove prirodnih resursa. Alternativni izvori vode igrat će sve veću ulogu u budućnosti i sve se više koristiti za različite namjene u vodoopskrbi, poljoprivredi, protupožarnoj zaštiti kao i za rekreativne i druge svrhe.

Trenutačno stanje u Republici Hrvatskoj pokazuje da unatoč pojedinim primjerima korištenja pročišćenih otpadnih voda i postupka desalinizacije u turističkim područjima odnosno otocima, korištenje alternativnih izvora vode još uvijek nije dovoljno rašireno jer se voda još uvijek shvaća kao bezgraničan resurs. Jedan od osnovnih koncepata ekonomike prirodnih resursa i okoliša jest koncept održivog razvoja. Upravljanje ponudom i potražnjom za vodom kao elementima održivog razvoja ima za cilj štednju ograničenih ili skupih vodnih resursa te optimizaciju iskorištavanja postojećih. Učinkovito uključivanje javnosti, sudjelovanje zajednice tijekom cijelog projektnog ciklusa i odgovarajuća edukacija su ključni. Posebno se projekti ponovne upotrebe vode rijetko mogu provesti bez društvenog prihvaćanja. Potrebe za vodom odražavaju promjenjive obrasce stanovništva, pod utjecajem planiranja korištenja zemljišta koje također identificira mogućnosti i ograničenja za infrastrukturu (uključujući obradu i distribuciju vode). Međutim, važno je osigurati da je koncipiranje korištenja alternativnih izvora vode ispravno integrirano

u te procese planiranja. To se uglavnom odnosi na turistička područja koja u vrijeme sezonskog povećanja stanovništva imaju povećanu potražnju za vodom. Na primjerima nekih otoka s razvijenim turizmom na kojima postoje navedeni problemi dovođenje vode s kopna vrlo je skup tehnički poduhvat koji rješava potražnju za vodom u periodu od tri ljetna mjeseca. Izvan tog perioda tolika količina vode nije potrebna. Za postizanje ravnoteže između ponude i potražnje za vodom na istim područjima jedno od rješenja je korištenje alternativnih izvora vode kao što su desalinizacija bočate i morske vode te ponovno korištenje pročišćenih otpadnih voda. Iste alternativne izvore vode moguće je koristiti i za potrebe individualne poljoprivredne proizvodnje. Prema Nacionalnoj razvojnoj strategiji Republike Hrvatske do 2030. godine intenzivirat će se projekti za jačanje otpornosti na klimatske promjene u vodoopskrbi i upravljanju otpadnim vodama.

LITERATURA

- [1] Strategija nacionalne sigurnosti Republike Hrvatske (Narodne novine, broj 73/17)
- [2] Nacionalna razvojna strategija Republike Hrvatske do 2030. godine (Narodne novine, broj 13/21)
- [3] Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (Narodne novine, broj 45/20)
- [4] Strategija niskougličnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu (Narodne novine, broj 63/21)
- [5] Strategija održivog razvitka Republike Hrvatske (Narodne novine, broj 30/09)
- [6] Nacionalna strategija zaštite okoliša (Narodne novine, broj 46/02)
- [7] Nacionalni plan djelovanja za okoliš (Narodne novine, broj 46/02)
- [8] Strategija upravljanja vodama (Narodne novine, broj 91/08)
- [9] Strategija razvoja održivog turizma do 2030. godine (Narodne novine, broj 02/23)
- [10] Zakon o zaštiti okoliša (Narodne novine, br. 80/13, 153/13, 78/15, 12/18 i 118/18)
- [11] Nacionalni plan razvoja otoka 2021. - 2027.
- [12] Zakon o vodama (Narodne novine, br. 66/19, 84/21 i 47/23)
- [13] Zakon o otocima (Narodne novine, br. 116/18, 73/20 i 70/21)
- [14] Mediteranska strategija održivog razvoja (2005)
- [15] Okvirna direktiva o vodama (2000.)
- [16] Direktive o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEZ)
- [17] Uredba 2020/741 Europskog parlamenta i vijeća od 25. svibnja 2020. o minimalnim zahtjevima za ponovnu upotrebu vode
- [18] Smart Specialisation in the Context of Blue Economy - Desalination Sector, EC, 2021.
- [19] Valorizacija vodoopskrbnih rješenja na otocima - Studija, Naručitelj Hrvatske vode, Izrađivač Hidroprojekt-ing d.o.o. i SI Consult d.o.o., Zagreb 2015.

- [20] Ponuda i potražnja za vodom kao elementi sustava održivog razvitka, Alena Vlašić, Magistarski rad, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 2012.

AUTORI

mr. sc. Alena Vlašić, dipl. ing. bioteh. ^a

doc. dr. sc. Siniša Širac, dipl. ing. kem. ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10 000 Zagreb, Hrvatska,
alena.vlasic@voda.hr, sinisa.sirac@voda.hr



R 3.05.

IZVJEŠČIVANJE O PROVEDBI DIREKTIVE O PROČIŠĆAVANJU KOMUNALNIH OTPADNIH VODA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Jasmina Antolić, Alenka Drenški, Ivica Popović, Josip Rubeša

SAŽETAK: Članstvom države u Europskoj uniji, u nacionalno zakonodavstvo preuzimaju se odredbe europskih direktiva koje uređuju obveze s ciljem ispunjenja zajedničke europske politike. U području upravljanja vodama, jedna od ključnih direktiva je Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEZ), kojom se utvrđuju obveze prikupljanja i pročišćavanja otpadnih voda u aglomeracijama opterećenja većeg od 2.000 ES. Ispunjenje odredaba Direktive i postizanje ciljeva zaštite voda, Europska komisija provjerava redovnim prikupljanjem podataka od država članica. Svake dvije godine, države članice su dužne izvijestiti o stanju provedbe zahtjeva Direktive, odnosno o ostvarenoj stopi prikupljanja otpadnih voda i o ostvarenom stupnju pročišćavanja na komunalnim uređajima aglomeracija. Razina pročišćavanja i učinak rada uređaja za pročišćavanje trebaju odgovarati zahtjevima koji proizlaze iz osjetljivosti prijemnog područja i veličine aglomeracije. Osim toga, u istim dvogodišnjim razmacima izvješćuju se i nacionalni programi provedbe Direktive, kojima država iskazuje planirane rokove dovršetka radova i financijska sredstva potrebna za postizanje sukladnosti sa zahtjevima Direktive. Hrvatska je, od 2014. godine do danas, sudjelovala u četiri europska izvještajna ciklusa. Istekom 2020. godine, odnosno istekom prva dva prijelazna razdoblja ispunjenja zahtjeva iz Ugovora o pristupanju Hrvatske Europskoj uniji, ocjena sukladnosti stanja provedbe Direktive postaje obvezna za aglomeracije prve i druge prioritetne skupine.

KLJUČNE RIJEČI: Pročišćavanje komunalnih otpadnih voda, Aglomeracije, Izvješćivanje Europske komisije, Ocjena usklađenosti, Javni isporučitelji vodnih usluga

REPORTING ON THE IMPLEMENTATION OF URBAN WASTEWATER TREATMENT DIRECTIVE IN THE REPUBLIC OF CROATIA

ABSTRACT: By becoming a member of the European Union, a country transposes the provisions of European directives, which regulate the obligations aimed at fulfilling the common European policy objectives, into its national legislation. In the field of water management, one of the key directives is the Urban wastewater treatment directive (91/271/EEC), which determines the obligations to collect and treat wastewater in agglomerations with a load higher than 2.000 PE. The European Commission confirms the

meeting of the provisions of the Directive and achievement of water protection objectives by regular collection of data from the member states. Every two years, the member states have the obligation to report on the implementation status of the requirements under the Directive, i.e. on the achieved wastewater collection rate and the achieved treatment level in wastewater treatment plants in agglomerations. The treatment level and the impact of treatment plants have to meet the requirements in accordance to the sensitivity of the receiving area and the agglomeration size. In addition, the reporting on the national implementation programmes for the Directive has to be carried out in the same 2-year intervals as well, in which a MS states the planned deadlines for the completion of works and the financing required in order to achieve the compliance with the requirements of the Directive. Since 2014 to date, Croatia participated in four EU reporting cycles. By the end of 2020, i.e. by the expiration of the first two transitional periods to comply with the requirements from the Treaty concerning the Accession of the Republic of Croatia to the European Union, the compliance assessment becomes mandatory for agglomerations from the first and second priority groups.

KEYWORDS: Urban wastewater treatment, Agglomerations, Reporting to the European Commission, Compliance assessment, Public providers of water services

1. UVOD

U europskom vodnom zakonodavstvu, direktive su temeljni propisi čije su odredbe obvezujuće za sve države članice Europske unije, uz neophodnu transpoziciju u nacionalno zakonodavstvo. Jedna od starijih direktiva, koja je na snazi već više od 30 godina, je i Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EZ). Ona propisuje obveze prikupljanja i zahtjeve za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda u aglomeracijama ukupnog opterećenja većeg od 2.000 ES, uzimajući u obzir i osjetljivost prijamnog područja u koje se pročišćene otpadne vode ispuštaju.

Opći zahtjev Direktive je sekundarno pročišćavanje, ali u područjima osjetljivima na utjecaj hranjivih tvari, odnosno spojeva dušika i fosfora, zbog moguće pojave eutrofikacije i degradacije vodnog okoliša, za aglomeracije čije je ukupno opterećenje veće od 10.000 ES i koje ispuštaju otpadne vode u takva područja, propisuje i obvezu pročišćavanja komunalnih otpadnih voda naprednijim postupcima pročišćavanja kojima se iz otpadne vode uklanjaju i hranjive tvari, odnosno trećim stupnjem pročišćavanja. Pri ispuštanju otpadnih voda iz aglomeracija ukupnog opterećenja manjeg od 10.000 ES u priobalne vode i ispuštanju iz aglomeracija opterećenja manjeg od 2.000 ES, moguća je i primjena odgovarajućeg pročišćavanja, uz uvjet da se time ne ugrožava ispunjenje ciljeva zaštite voda. Preduvjet za ispunjenje zahtjeva za pročišćavanje otpadnih voda aglomeracije, vezan je uz maksimalno prikupljanje otpadnih voda sustavima javne odvodnje, uz mogućnost primjene odgovarajućih individualnih sustava.

Uspješnost svake države članice u provedbi odredaba Direktive ocjenjuje Europska komisija u redovnim dvogodišnjim intervalima, temeljem podataka koje je država dužna dostaviti u odgovarajućem formatu putem posebne platforme. Tijekom 2022. godine odvijao se 12. europski ciklus izvješćivanja, peti po redu u kojem je sudjelovala i Hrvatska.

2. IZVJEŠTAJI O STANJU I PROGRAMU PROVEDBE DIREKTIVE

Pridruživanjem Hrvatske Europskoj uniji sredinom 2013. godine i transpozicijom europskog vodnog zakonodavstva u nacionalne propise, ispunjavanje europskih standarda obvezujuće je i za Hrvatsku. Doseg i uspješnost provedbe direktiva u svim državama članicama, Europska komisija prati putem definiranih izvještaja, kojima se Komisiji na raspolaganje stavljaju traženi nacionalni podaci relevantni za pojedinu direktivu. Evaluacijom ovih podataka na razini Unije, Komisija donosi i ocjenu usklađenosti i/ili udaljenosti do zadanog cilja. Ukoliko država članica u velikoj mjeri odstupa od preuzetih obveza, Komisija ima ovlasti pokrenuti i sudski postupak povrede prava koji, ako Komisija dokaže istu pred sudom, može rezultirati i velikim financijskim kaznama državi.

Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda propisuje obvezu dostave dvije vrste izvještaja. Prema čl. 15. Direktive, svaka država je u razmacima od dvije godine dužna dostaviti podatke o stanju provedbe za referentnu godinu, sa odmakom od dvije godine u odnosu na godinu u kojoj se izvješćuje. Primjerice, tijekom 2022. godine države su dostavljale podatke o stanju provedbe do dana 31. prosinca 2020. godine.

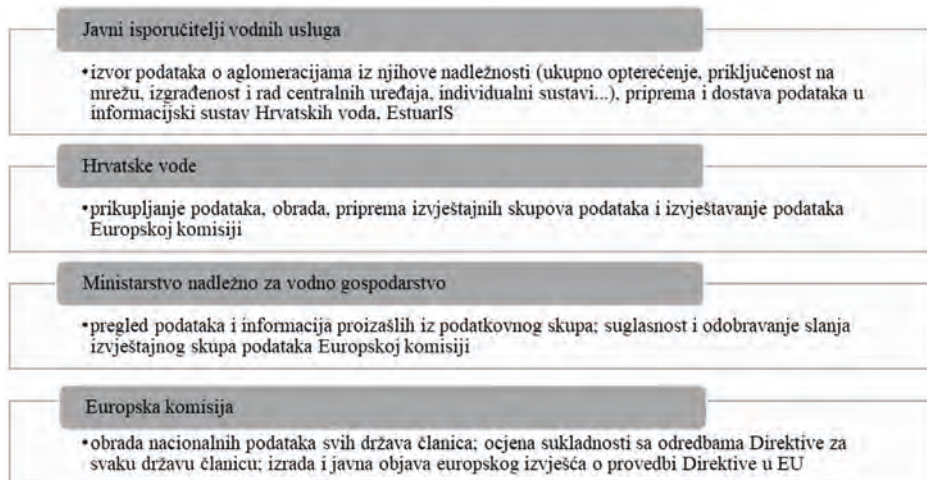
Druga vrsta izvještaja propisana je člankom 17. Direktive, kojim se traži dostava podataka o programu provedbe Direktive u nadolazećim godinama za aglomeracije koje još nisu sukladne s odredbama Direktive, s naglaskom na rokove u kojima se planira provesti potrebne radove i očekivanim financijskim iznosima potrebnima za ispunjenje ciljeva.

2.1. Izvještaj o stanju provedbe direktive (prema čl. 15)

U procesu izvješćivanja Hrvatska sudjeluje od 2014. godine. U prvim izvještajima bili su prikazani samo osnovni podaci o aglomeracijama opterećenja većeg od 2.000 ES - veličina opterećenja, izgrađeni uređaji i njihovi ispusti te prostorni podaci o osjetljivim područjima - budući da su na snazi bila prijelazna razdoblja za sve aglomeracije. Istekom prvog prijelaznog razdoblja ispunjenja zahtjeva, 31. prosinca 2018. godine, za prvu prioritetnu skupinu aglomeracija postaje obavezno dostaviti puno detaljnije podatke o sustavima javne odvodnje, priključenosti opterećenja, učinku rada uređaja za pročišćavanje, ali i udjelu otpadnih voda prikupljenih u individualnim sustavima ili ispuštenima bez pročišćavanja. Temeljem tih podataka, Europska komisija ocjenjuje doseg ispunjenja obveza i sukladnost sa zahtjevima Direktive.

Izvor svih podataka su javni isporučitelji vodnih usluga, a prikupljanje provode Hrvatske vode svake druge godine, pomoću specijalizirane aplikacije Odvodnja i pročišćavanje, kao jednog od modula informacijskog sustava EstuarIS. Značajni element izvještaja odnosi se na utvrđivanje učinkovitosti rada uređaja za pročišćavanje u odnosu na zahtijevani stupanj pročišćavanja. Ocjena se provodi u Hrvatskim vodama, a temelji se na analizama relevantnih pokazatelja (BPK_5 , KPK_{Cr} , suspendirana tvar te ukupni dušik i ukupni fosfor za uređaje trećeg stupnja pročišćavanja) sa ulaznih i izlaznih mjernih okana uređaja. Ove podatke isporučitelji vodnih usluga dužni su redovno dostavljati Hrvatskim vodama putem obrasca B2, propisanog Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda, uz dodatnu dostavu originalnih analitičkih izvješća ovlaštenog laboratorija o provedenim ispitivanjima sastava otpadnih voda. Pravilnikom su također propisane i granične vrijednosti emisija za pojedine stupnjeve pročišćavanja, kao i metodologija ocjene učinkovitosti rada uređaja za pročišćavanje.

Nakon pregleda i obrade podataka, zaključci se prezentiraju rukovodećim strukturama u Hrvatskim vodama i ministarstvu nadležnom za vodno gospodarstvo. Ministarstvo izdaje suglasnost i odobrava slanje izvješća Europskoj komisiji. Na Slici 1. prikazane su uloge svih dionika procesa izvješćivanja.



Slika 1. Dionici procesa izvješćivanja o stanju provedbe Direktive i njihove uloge

Korištenjem izvještajnih obrazaca definiranih Rječnikom podataka (engl. Data Dictionary), podaci se učitavaju u europsku platformu Reportnet 3.0, namijenjenu prihvatu podataka o brojnim izvještajnim obvezama država članica iz područja zaštite okoliša i klime. Reportnet je dio infrastrukture EIONET-a (European Environment Information and Observation Network - Europski sustav podataka i praćenja okoliša), sustava koji objavom tematskih izvještaja i preglednika podataka nastoji osigurati potrebne informacije donositeljima odluka ali i zainteresiranoj javnosti.

U kontekstu izvješćivanja o komunalnim otpadnim vodama, osim navedenih alfanumeričkih podataka o aglomeracijama, Hrvatske vode pripremaju i u sustav učitavaju prostorne podatke o osjetljivim područjima proglašenima Odlukom o određivanju osjetljivih područja.

Osnovni prostorni i numerički podaci o aglomeracijama i osjetljivim područjima iz zadnje izvještajne godine javno su dostupni i na pregledniku Hrvatskih voda, Geoportalu, u temi Registar aglomeracija. U Registru se trenutno prikazuju obuhvati aglomeracija sa stanjem 31. prosinca 2020. godine (Slika 2.), pripremljeni tijekom posljednjeg, 12. europskog izvještajnog ciklusa provedenog 2022. godine. U tijeku su i pripremne aktivnosti za novi izvještajni ciklus kojim će se izvješćivati stanje provedbe Direktive do 31. prosinca 2022., a prema tome će se novelirati i podaci u Registru aglomeracija.



Slika 2. Prostorni preglednik Hrvatskih voda - Geoportal, početni prikaz teme Registar aglomeracija

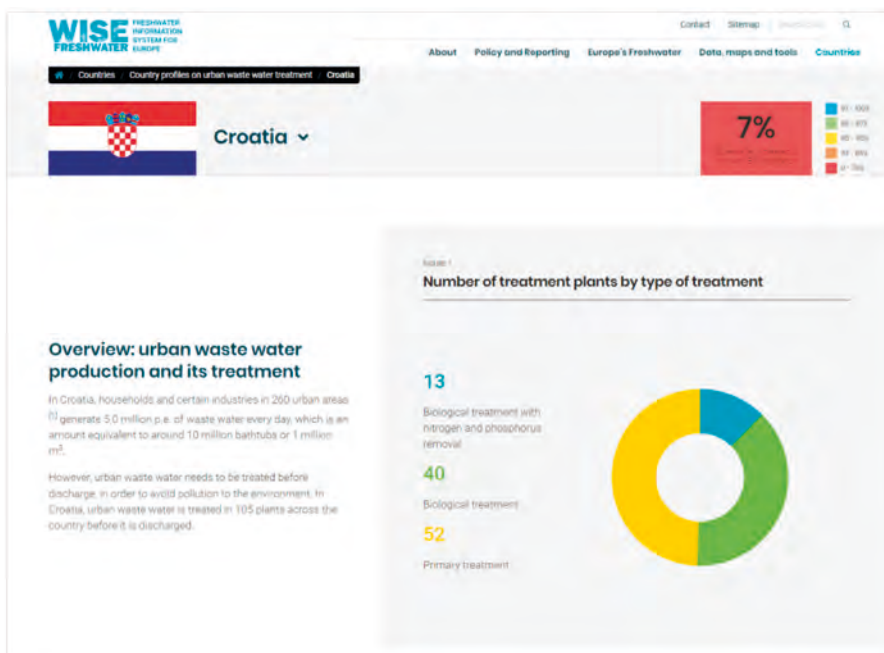
2.1.1. Ocjena sukladnosti sa zahtjevima Direktive

Sve podatke koje su države članice putem Reportneta dostavile, pregledava i obrađuje Europska komisija. Cilj je utvrditi u kolikoj mjeri je svaka pojedina država ispunila ključne zahtjeve iz Direktive, odnosno je li postigla sukladnost sa zahtjevima za prikupljanje komunalnih otpadnih voda (čl. 3. Direktive), njihovim pročišćavanjem na drugom stupnju (čl. 4. Direktive) ili, gdje je zahtijevano, na trećem stupnju (čl. 5. Direktive). Generalno gledajući, Komisija ocjenjuje da je neka aglomeracija potpuno sukladna ako je prikupljeno ≥ 98 % opterećenja aglomeracije te ako je ≥ 99 % prikupljenog opterećenja pročišćeno na uređaju koji postiže učinke minimalno zahtijevanog stupnja pročišćavanja.

Prikupljanje otpadnih voda u pravilu se postiže građevinama za javnu odvodnju, a u manjem dijelu je moguće i korištenje individualnih sustava, osobito ako se radi, primjerice, o sabirnim jamama koje se prazne na centralnom uređaju aglomeracije. Udio opterećenja prikupljenog individualnim sustavima unutar aglomeracije ne bi trebao prelaziti 2 % ukupnog opterećenja, a pri pročišćavanju trebali bi osigurati odgovarajuću razinu zaštite vodnog okoliša kao i u ostatku aglomeracije. Za slučajeve kada Komisija utvrdi da država članica nije postigla sukladnost, računa se tzv. „udaljenost do cilja“, koja daje informaciju o napretku države u ispunjenju ciljeva prikupljanja i pročišćavanja otpadnih voda između dva izvještajna ciklusa.

Europska komisija je dužna izraditi objedinjeno europsko izvješće o stanju provedbe Direktive na cijelom području Unije. Do 2019. godine Komisija je objavljivala samo tekstualna izvješća, praćena dodatkom sa opsežnim tehničkim podacima za svaku državu pojedinačno. Od 2020. godine, na mrežnim stranicama portala WISE (Water Information System for Europe - Europski sustav sa informacijama o vodama) u funkciji je preglednik s prikazom ključnih informacija o stanju provedbe Direktive u svakoj pojedinoj državi. Aktualni preglednik prikazuje podatke iz 11. europskog izvještaja, o stanju na dan 31.

prosina 2018. godine. Za Hrvatsku je to bila godina isteka prijelaznog razdoblja za prvu prioritetnu skupinu aglomeracija i prva godina u kojoj se provela ocjena sukladnosti ispunjenja odredaba Direktive. Od ukupno identificiranih 260 aglomeracija opterećenja većeg od 2.000 ES, za njih 58 (22 % od ukupnog broja) je do kraja 2018. istekao rok za usklađenje. Prema ocjeni Komisije, Hrvatska je imala tek 7 % adekvatno prikupljenog i pročišćenog opterećenja, odnosno samo je za pet aglomeracija utvrđeno da su bile sukladne zahtjevima. Ovih pet aglomeracija generiralo je 255.360 ES, dok je ukupno identificirano opterećenje promatranih 260 aglomeracija iznosilo 5 milijuna ES. Na Slici 3 prikazana je stranica WISE preglednika sa navedenim informacijama relevantnima za Hrvatsku.



Slika 3. Europski portal sa prikazom nacionalnih podataka iz 11. ciklusa izvješćivanja o stanju provedbe Direktive do 31. prosinca 2018. godine

Tijekom 2022. godine odvijao se 12. ciklus izvješćivanja za stanje provedbe na datum 31.12.2020. godine. Utvrđeno je 245 aglomeracija opterećenja većeg od 2.000 ES, a prijelazna razdoblja su istekla za ukupno 74 aglomeracije prve i druge prioritetne skupine. Do smanjenja broja aglomeracija velikim dijelom je došlo zbog značajnog pada broja stanovnika utvrđenog Popisom 2021. Veći broj aglomeracija je bilježio pad broja stanovnika između 10 % i 20 %, a dio njih čak i do 30 % u odnosu na popis stanovništva iz 2011. godine.

Europsko izvješće o provedbi Direktive do kraja 2020. godine još je u fazi izrade, no za Hrvatsku se, za udio sukladnih aglomeracija i ukupnog opterećenja pročišćenog do zahtjevanog stupnja, ne očekuje značajna razlika u odnosu na prethodno izvješće za 2018. godinu.

2.2. Izvještaj o nacionalnom programu provedbe Direktive (prema čl. 17)

Sve države članice dužne su izraditi nacionalni program za provedbu odredaba Direktive, redovno ga ažurirati i o tome obavještavati Europsku komisiju svake dvije godine. Predmet izvještaja su podaci o očekivanim rokovima ispunjenja zahtjeva za svaku aglomeraciju opterećenja većeg od 2.000 ES koja još nije dosegla sukladnost ili su još na snazi prijelazna razdoblja iz Ugovora o pristupanju Uniji. Također, potrebno je navesti koje izvore financiranja država planira koristiti u cilju postizanja potpune sukladnosti, o kolikim očekivanim troškovima se radi te koliki udio se očekuje sufinancirati iz odgovarajućih europskih fondova, zajmova i slično. Podaci se prikazuju detaljno, posebno za sustave prikupljanja i odvodnje otpadnih voda i posebno za uređaje za pročišćavanje. Izrada i dostava izvješća o programu provedbe odvija se u istim godinama kao i izvješće o stanju provedbe, u definiranom formatu, koristeći platformu Reportnet 3.

Krovni planski dokument razvoja vodno-komunalne infrastrukture u Hrvatskoj je „Višegodišnji program gradnje komunalnih vodnih građevina“ (skrać. VPGKVG), a donosi ga Vlada Republike Hrvatske. Aktualni VPGKVG donesen je 2021. godine, a odnosi se na program građenja vodoopskrbnih sustava i sustava javne odvodnje do 2030. godine. U dijelu koji se odnosi na građevine odvodnje, zasniva se na pokazateljima stanja provedbe Direktive za 2018. godine, koji su bili predmet izvještaja u 11. europskom ciklusu izvješćivanja, provedenom 2020. godine. Pri tome su utvrđeni očekivani rokovi dovršetka radova na sustavima javne odvodnje i uređajima za pročišćavanje za sve tri prioritetne skupine aglomeracija, s prijelaznim rokovima 2018., 2020. i konačnim rokom 2023. godine iz Ugovora o pristupanju Republike Hrvatske Europskoj uniji. Prioritetnost se temeljila na veličini opterećenja aglomeracije i osjetljivosti prijamnog područja ispuštenih otpadnih voda. Za prvu prioritetnu skupinu, očekivani krajnji rok postizanja sukladnosti planiran je do kraja 2026. godine, a za drugu i treću prioritetnu skupinu do kraja 2027. godine. Planirana ulaganja su iskazana ukupno u iznosu od 3,4 milijarde eura, od čega je 2,5 milijardi predviđeno za sustave prikupljanja i odvodnje, a 0,9 milijardi eura za uređaje za pročišćavanje.

Tijekom 12. izvještajnog ciklusa provedenog 2022. godine, uslijed poteškoća u realizaciji ranije planirane dinamike aktivnosti, očekivani krajnji rokovi za postizanje sukladnosti dodatno su pomaknuti do kraja 2030. za prvu i drugu prioritetnu skupinu, odnosno do kraja 2032. godine za treću skupinu aglomeracija. Navedeni očekivani krajnji rok predstavlja produljenje inicijalno utvrđenog roka za dodatnih devet godina. Planirana ulaganja u izgradnju i stavljanje u funkciju građevina odvodnje i pročišćavanja očekuju se do iznosa od 2,1 milijarde eura za sustave javne odvodnje i 0,9 milijardi eura za uređaje za pročišćavanje, uz planiranim ukupnim udjelom sufinanciranja iz kohezijskog fonda EU i/ili drugih europskih izvora financiranja na razini Republike Hrvatske od 64 %.

3. ŠTO DONOSI REVIZIJA I NOVI PRIJEDLOG DIREKTIVE ?

Nakon višegodišnjeg procesa evaluacije postojeće Direktive iz 1991. godine, kao jedne od najstarijih Direktiva u vodnom zakonodavstvu Unije, pri čemu je provedena ocjena ispunjenja, učinkovitosti i postizanja ciljeva zaštite vodnog okoliša, zaključak Komisije je da je Direktiva bila uspješna i da je postizala ciljeve. No, kako se javljaju novi izazovi u zaštiti vodnog okoliša, Komisija je krajem listopada 2022. godine objavila prvi nacrt

nove direktive, koja bi u značajnoj mjeri postavile strože zahtjeve postojećih odredaba, ali i posve nove odredbe kojima se postavljaju vrlo ambiciozni ciljevi kojima se želi postići još bolja zaštita vodnog okoliša.

Neki od ključnih strožih odredaba odnose se na sniženje praga primjene direktive na aglomeracije veće od 1.000 ES, utvrđivanje drugog stupnja kao osnovne razine pročišćavanja, strože granične vrijednosti trećeg stupnja pročišćavanja, ali i uvođenje četvrtog stupnja u najvećim aglomeracijama. Postupcima četvrtog stupnja trebalo bi uklanjati mikroonečišćujuće tvari, primjerice organske spojeve koji se uobičajeno nalaze u farmaceutskim pripravcima. Postavljaju se i novi zahtjevi koji se odnose na postizanje energetske neutralnosti uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, praćenje i izračun stakleničkih plinova, praćenje pokazatelja relevantnih za javno zdravstvo (primjerice ostaci virusa u otpadnoj vodi), a dodatno se potiče ponovna upotreba pročišćene vode, primjerice u poljoprivrednoj proizvodnji, kao i recikliranje i uporaba mulja sa uređaja za pročišćavanje.

Nacrt nove direktive još je u raspravi na tijelima Unije, o njemu se očituju sve države članice pregovarajući i predlažući izmjene u tekstu nacrta. Za sada još nije poznat rok u kojem se očekuje donošenje novog teksta Direktive, no evidentno je da će predložene izmjene i proširenje obuhvata direktive, pred države članice u budućnosti postaviti nove provedbene zahtjeve, kako u tehničkom, administrativnom i financijskom smislu tako i kada su u pitanju ljudski resursi neophodni za provedbu svega navedenog.

Posljedično, zbog povećanja opsega direktive, značajno bi se proširio opseg informacija koje svaka država članica treba pripremiti i redovito dostavljati Komisiji i time bi se povećale i obveze izvješćivanja relevantnih podataka. Novi zahtjevi bi svakako postavili izazove svim dionicima ovog procesa, prvenstveno za isporučitelje vodnih usluga kao izvora glavnine podataka i Hrvatskih voda kao subjekta odgovornog za prikupljanje i obradu podataka te izvješćivanje Europske komisije.

ZAKLJUČAK

Proces prikupljanja podataka o provedbi europskog zakonodavstva i njihovog izvješćivanja Europskoj komisiji, neizbježna je i ozbiljna zadaća svake države članice Unije. U Hrvatskoj je ovaj proces proveden već četiri puta od 2014. godine, u razmacima od dvije godine, a u 2024. godini slijedi i novi izvještajni ciklus. Usprkos tome što je skup traženih podataka stabilan, i dalje su primjetne poteškoće pri osiguravanju i slanju podataka od strane dijela javnih isporučitelja vodnih usluga. Poseban izazov će predstavljati uspostava sustava praćenja podataka o individualnim sustavima odvodnje, jer su još uvijek podaci često niske razine pouzdanosti.

Obzirom na moguće proširenje zahtijevanih vrsta podataka u budućnosti, svakako su potrebna poboljšanja kapaciteta isporučitelja kao izvora podataka i boljeg razumijevanja detaljnosti neophodne za kreiranje tražene informacije. Proširivanje potrebnog podatkovnog skupa zahtijevat će prilagodbu postojećih i razvoj novih aplikativnih rješenja, kako kod izvora podataka, tako i u Hrvatskim vodama koje su zadužene za prikupljanje i obradu podataka te njihovu interpretaciju i izvješćivanje na nacionalnoj razini. Kvalitetni ulazni podaci jamstvo su pouzdane informacije i preduvjet za uspješno donošenje odluka i razvoj bilo kojeg sustava. Osim toga, treba nastaviti i dodatno potaknuti razvoj plat-

formi za prikaz javno dostupnih podataka, prostornih i numeričkih te iz njih izvedenih informacija potrebnih stručnoj i znanstvenoj zajednici, ali dostupnih i za zainteresiranu javnost.

LITERATURA

- [1] Direktiva Vijeća od 21. svibnja 1991. o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEZ), konsolidirana verzija 01.01.2014. (preuzeto 11.09.2023., poveznica: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A01991L0271-20140101>)
- [2] EIONET Portal – European Environment Information and Observation Network, (preuzeto 11.09.2023., poveznica: <https://www.eionet.europa.eu/>)
- [3] Europska komisija (2022), 11. tehnička ocjena implementacije Direktive o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda, Europska unija 2022. (preuzeto 25.01.2023., poveznica: https://environment.ec.europa.eu/topics/water/urban-wastewater/implementation-reports_en)
- [4] Europska komisija, (2022), Prijedlog revidirane Direktive o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda, Opća uprava za okoliš, (preuzeto 11.09.2023., poveznica: https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-revised-urban-wastewater-treatment-directive_en)
- [5] Europska unija, Provedbena odluka Komisije od 26. lipnja 2014 o formatu za izvješćivanje nacionalnih programa provedbe Direktive Vijeća 91/271/EEZ (2014/431/EU), (preuzeto 11.09.2023., poveznica: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1405007191767&uri=CELEX:32014D0431>)
- [6] Hrvatske vode, Geoportal - Registar aglomeracija (2022), (preuzeto 11.09.2023., poveznica: <https://voda.hr/hr/geoportal>)
- [7] Reportnet 3.0 portal, europski izvještajni portal (preuzeto 11.09.2023., poveznica: <https://www.eionet.europa.eu/reportnet/about-reportnet-1>)
- [8] Odluka o određivanju osjetljivim područjima, „Narodne novine“ br. 79/2022
- [9] Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda, „Narodne novine“ br. 26/2020
- [10] Višegodišnji program gradnje komunalnih vodnih građevina za razdoblje do 2030. godine (2021), Odluka o donošenju, „Narodne novine“ br. 147/2021, tekst preuzet 31.03.2023., poveznica: <https://voda.hr/hr/visegodisnji-programi-gradnje>)
- [11] WISE - Water Information System for Europe, portal sa ključnim podacima iz 11. europskog izvještaja o provedbi UWWT Direktive, (preuzeto 11.09.2023., poveznica: <https://water.europa.eu/freshwater/countries/uwwt>)

AUTORI

Jasmina Antolić, dipl. ing. preh. teh. ^a

Alenka Drenški, mag. ing. aedif. ^b

Ivica Popović, dipl. ing. građ. ^c

Josip Rubeša, mag. ing. aedif. ^d

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska,
jasmina.antolic@voda.hr

^b Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska,
alenka.drenski@voda.hr

^c Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska,
ivica.popovic@voda.hr

^d Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska,
josip.rubesa@voda.hr



R 3.06.

OTPADNE VODE SUSTAVA JAVNE ODVODNJE PRIJAVLJENE U REGISTAR ONEČIŠĆAVANJA OKOLIŠA

Zrinka Vranar

SAŽETAK: Europska unija donijela je Uredbu o uspostavi Europskog registra ispuštanja i prijenosa onečišćujućih tvari (E-PRTR uredba) 2006. godine kako bi implementirala PRTR protokol i uspostavila Europski registar (E-PRTR). U Hrvatskoj je ova Uredba prvi puta implementirana 2008. godine donošenjem Pravilnika o registru onečišćavanja okoliša koji propisuje i uspostavu samog Registra onečišćavanja okoliša (ROO). ROO sadrži informacije o točkastim izvorima onečišćenja, tj. o ispuštanju onečišćujućih tvari u zrak, vodu, more i tlo te o otpadu. Pravilnikom ROO propisani su stroži uvjeti prijave od E-PRTR uredbe¹, tako da je set podataka veći. Od 292 ispusta komunalnih otpadnih voda prijavljenih u 2022. godini, svega za njih pet postoji obveza prijave prema E-PRTR uredbi. Prikupljeni podaci osim za potrebe izvješćivanja prema Europskoj komisiji sukladno zahtjevima E-PRTR uredbe, koriste se i za ispunjavanje ostalih EU i međunarodnih izvještajnih obveza Republike Hrvatske o stanju i praćenju provedbe politika zaštite okoliša. Sukladno izmjenama politika EU mijenjaju se i zahtjevi za izvješćivanje te se novim zahtjevima kontinuirano usklađuje i baza ROO.

KLJUČNE RIJEČI: Industrija, Onečišćenje, Okoliš, Javnost, E-PRTR, ROO

PUBLIC SEWAGE WASTEWATER REGISTERED IN THE ENVIRONMENTAL POLLUTION REGISTER

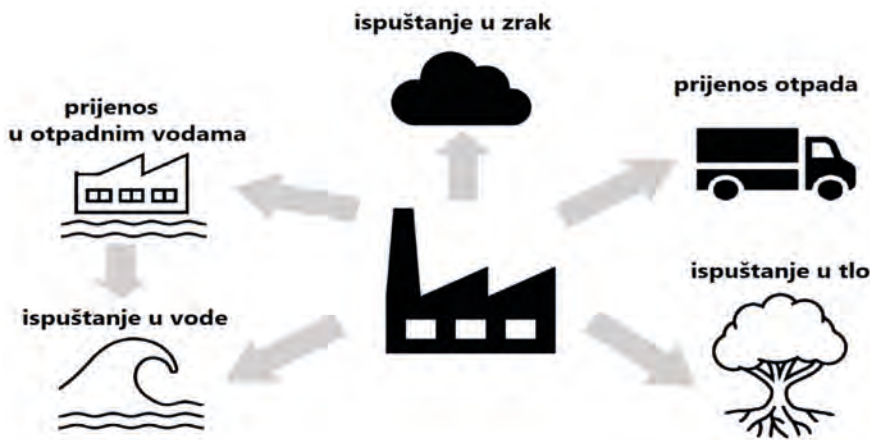
ABSTRACT: The European Union has adopted the Regulation concerning the establishment of a European Pollutant Release and Transfer Register in order to implement the Protocol on pollutant release and transfer registers (PRTR) and establish the European Register (E-PRTR). In Croatia, this Regulation was first implemented in 2008 with the adoption of the Ordinance on the Environmental Pollution Register, which prescribes the establishment of the Register of Environmental Pollution (EPR). The EPR contains information on point sources of pollution, i.e. releases of pollutants into air, water, sea and soil and on waste. The EPR Ordinance prescribes stricter application requirements than the E-PRTR, thus the data set is larger. Out of 292 urban wastewater discharges reported in 2022, only 5 of them have to be reported under the to the Regulation on E-PRTR. Data collected in the EPR database, except for the purposes of reporting to the European Commission in accordance with the requirements of the E-PRTR Regulation, are also

used for other EU and international reporting obligations, and to monitor the fulfilment of objectives related to the state and implementation of the environment protection policy. In accordance with the new EU objectives and policies, the reporting requirements are also changing, and the EPR database is being adjusted to the new requirements.

KEYWORDS: Industry, Pollution, Environment, Public, E-PRTR, EPR

1. UVOD

Europska unija donijela je Uredbu o Europskom registru ispuštanja i prijenosa onečišćujućih tvari (E-PRTR)¹. kako bi implementirala Protokol o registrima ispuštanja i prijenosa onečišćujućih tvari (Protocol on Pollutant Release and Transfer Registers, PRTR)². Uredbom E-PRTR uspostavljen je pravni okvir za izvješćivanje o emisijama onečišćujućih tvari i kretanjima otpada za industrijska postrojenja zemalja članica Europske unije te Islanda, Lihtenštajna, Norveške, Švicarske, Srbije i Ujedinjenog Kraljevstva. E-PRTR osigurava pouzdane i usporedive podatke o emisijama onečišćujućih tvari iz industrije; podupire nastojanja industrije da prati i smanji svoj utjecaj na okoliš; te utječe na povećanje transparentnosti i uključenost javnosti u donošenje odluka o okolišu.



Slika 1. Ispuštanje i prijenos onečišćujućih tvari u sastavnice okoliša te prijenos otpada

Prate se ispuštanja onečišćujućih tvari u zrak, vode i tlo te prijenosa onečišćujućih tvari u otpadnim vodama i otpada iz industrijskih djelatnosti sukladno Prilogu 1. i 2. E-PRTR uredbe (Slika 1.). Podaci su javno dostupni putem Portala o industrijskim emisijama u Europi (<https://industry.eea.europa.eu/#/home>).

1 Uredba (EZ) br. 166/2006 Europskog parlamenta i Vijeća od 18. siječnja 2006. o uspostavi Europskog registra ispuštanja i prijenosa onečišćujućih tvari i o izmjeni direktiva Vijeća 91/689/EEZ i 96/61/EZ (Tekst značajan za EGP) (SL L 33, 4. 2. 2006.)

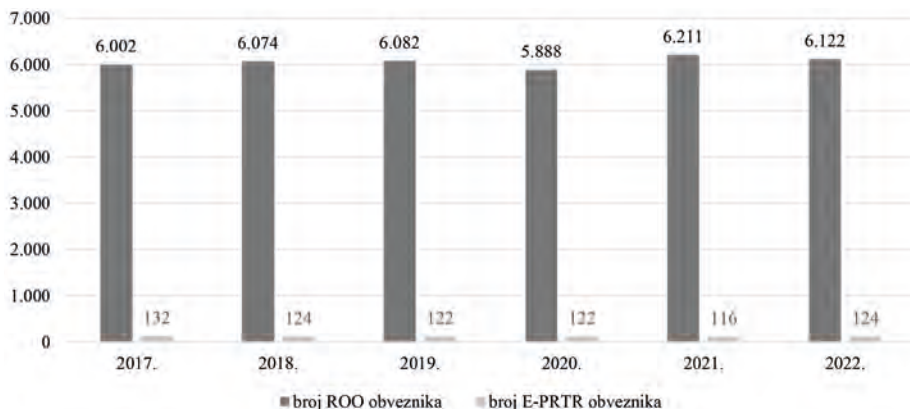
2 Zakon o potvrđivanju Protokola o registrima ispuštanja i prijenosa onečišćujućih tvari uz Konvenciju o pristupu informacijama, sudjelovanju javnosti u odlučivanju i pristupu pravosuđu u pitanjima okoliša, „Narodne novine“ - Međunarodni ugovori, broj 04/08

2. REGISTAR ONEČIŠĆAVANJA OKOLIŠA (ROO)

U Hrvatskoj je E-PRTR uredba implementirana putem Zakona o zaštiti okoliša³, kojim je propisano osnivanje nacionalnog Registra onečišćavanja okoliša (ROO) te donošenjem Pravilnika o registru onečišćavanja okoliša⁴ 2008. godine kojim su definirani obvezni sadržaj i način vođenja baze ROO, obveznici dostave podataka, način, metodologija i rokovi prikupljanja i dostavljanja podataka o ispuštanju, prijenosu onečišćujućih tvari u okoliš, otpadu, podaci o onečišćivaču, tvrtki, postrojenju, rok i način obavještanja javnosti, način provjere i osiguranja kvalitete podataka, rok čuvanja podataka i obavljanje stručnih poslova vođenja sustava ROO. Prilozima Pravilnika ROO propisane su djelatnosti kao i pragovi ispuštanja pojedinih onečišćujućih tvari. Do sada se Pravilnik ROO mijenjao dva puta (2015⁵. i 2022 godine⁶).

Postoje razlike između nacionalnog seta ROO obveznika i seta E-PRTR obveznika (Slika 2.) koje proizlaze iz strožih uvjeta propisanih Pravilnikom ROO, kako slijedi:

1. Sukladno Pravilniku ROO operateri za svoja postrojenja trebaju prijaviti ispuštanje/prijenos 134 pokazatelja / onečišćujuće tvari, dok se prema Uredbi o EPRTR izvješćuje o 91 onečišćujućoj tvari;
2. Prilogom I. Pravilnika ROO obuhvaćen je veći broj djelatnosti;
3. Pragovi ispuštanja za pojedine onečišćujuće tvari propisani Pravilnikom ROO znatno su niži nego oni koje zahtijeva E-PRTR uredba;
4. Znatno su niži pragovi za prijavu otpada (prema E-PRTR uredbi potrebno je prijaviti prijenos izvan mjesta nastanka 2 tone opasnog i/ili 2.000 tona neopasnog otpada, a pragovi za ROO su 500 kilograma opasnog te 20 tona neopasnog otpada).



Slika 2. Usporedba broja obveznika dostave podataka prema Pravilniku ROO i prema Uredbi o E-PRTR

Danas Zavod za zaštitu okoliša i prirode Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja brine o održavanju, radu i daljnjem razvoju Registra onečišćavanja okoliša. Javnost može

3 Zakon o zaštiti okoliša - „Narodne novine“ broj 80/13, 153/13, 78/15, 12/18, 118/18

4 Pravilnik o registru onečišćavanja okoliša („Narodne novine“, broj 35/08)

5 Pravilnik o registru onečišćavanja okoliša („Narodne novine“, broj 87/15)

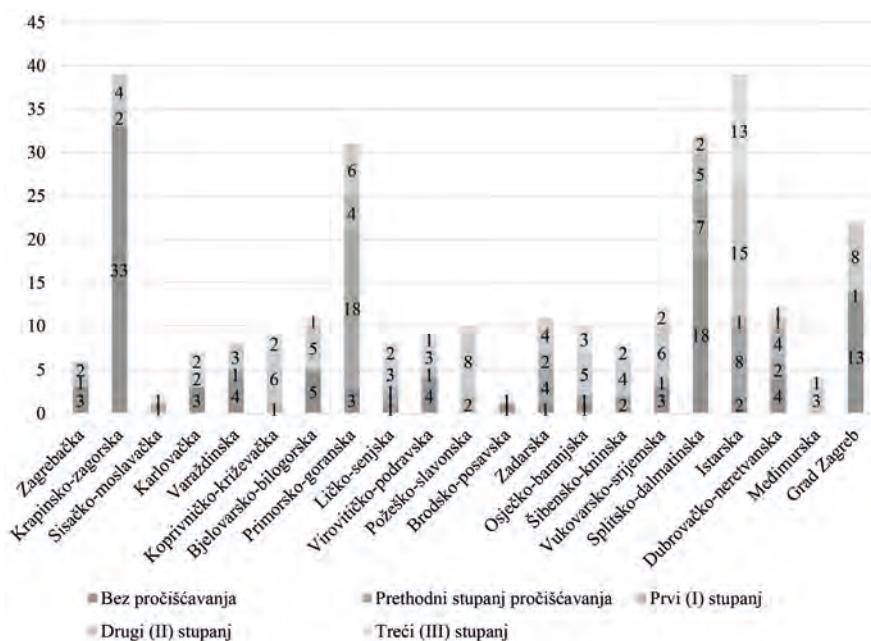
6 Pravilnik o registru onečišćavanja okoliša („Narodne novine“, broj 3/22)

pristupiti ovim podacima putem javno dostupnog preglednika ROO (<http://roo.azo.hr/rpt.html>) i putem ENVI portala i Atlasa okoliša (<http://envi-portal.azo.hr/atlas>) te indirektno putem raznih izvješća te upita.

2.1. Ispusti i uređaji za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda prijavljeni u bazu ROO

Sukladno Pravilniku ROO, upravitelji javne odvodnje dostavljaju podatke za svaki ispušt komunalnih otpadnih voda sustava javne odvodnje, za koje je ishođena vodopravna dozvola, na obrascu o ispuštanju komunalnih otpadnih voda (KI-V). Navedeni obrazac između ostalog zahtjeva prijavu podataka o vodnom području, aglomeracijama, stupnjevima i načinima pročišćavanja, količini i mjestu ispuštanja, prosječnim godišnjim koncentracijama te količinama ispuštenih onečišćujućih tvari u komunalnim otpadnim vodama iz sustava javne odvodnje u prijemnik.

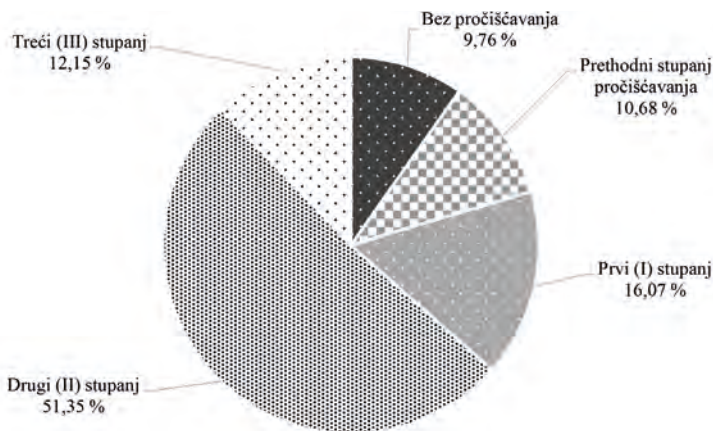
U bazu ROO u 2022. godini prijavljeno je ukupno 292 ispusta komunalnih otpadnih voda. Na 99 ispusta prijavljeno je ispuštanje bez pročišćavanja, na 46 ispustu prijavljen je prethodni stupanj pročišćavanja, a za 147 ispusta prijavljen je neki od viših stupnjeva pročišćavanja otpadnih voda. Najveći broj pojedinačnih ispusta prijavljen je u Krapinsko - zagorskoj i Istarskoj županiji a najmanji broj u Sisačko - moslavačkoj i Brodsko - posavskoj županiji (Slika 3.).



Slika 3. Broj prijavljenih ispusta otpadnih voda iz sustava javne odvodnje u 2022. godini po županijama i prijavljenim stupnjevima pročišćavanja

Prema prijavljenim podacima u bazu ROO, u 2022. godini u okoliš je ispušteno 280 milijuna m³ komunalne otpadne vode, od toga je bez pročišćavanja ispušteno 27 milijuna

m³ (9,76 %); 30 milijuna m³ (10,68 %) ispušteno je iz uređaja koji imaju samo prethodni stupanj pročišćavanja; iz uređaja s prvim (I.) stupnjem pročišćavanja ispušteno je 45 milijuna m³ (16,07 %); iz uređaja s drugim (II.) stupnjem ispušteno je 144 milijuna m³ (51,35 %), a iz uređaja s trećim (III.) stupnjem pročišćavanja ispušteno je 34 milijuna m³ (12,15 %) otpadne vode (Slika 4.).



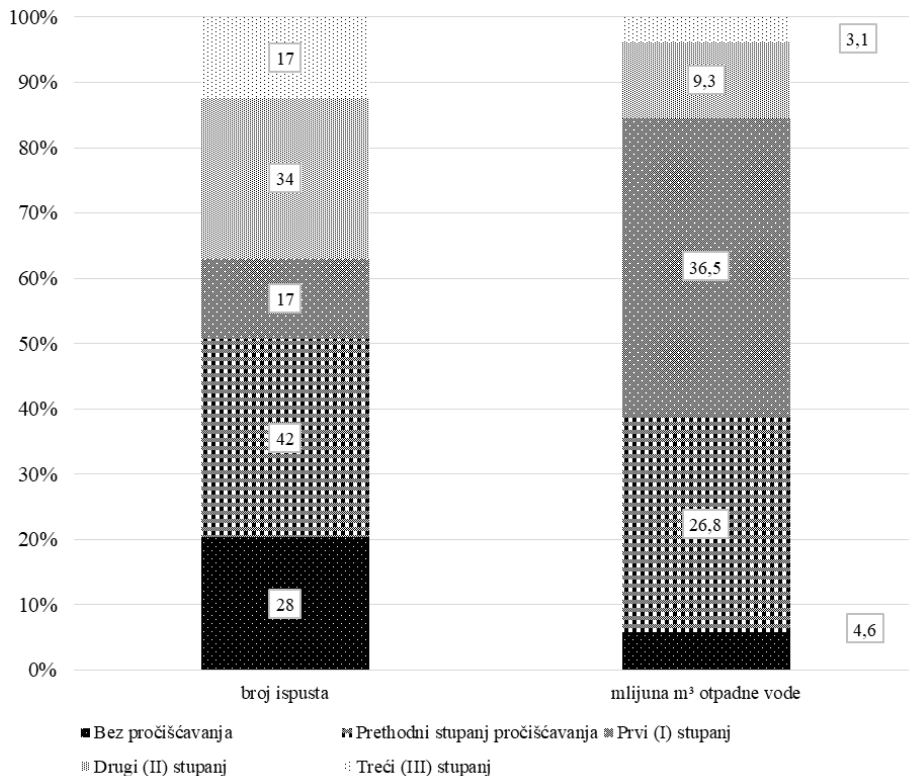
Slika 4. Udjeli količina ispuštene otpadne vode prema primijenjenom stupnju pročišćavanja na razini Republike Hrvatske prijavljeni za 2022. godinu

Ako se promatra količina onečišćujućih tvari u komunalnim otpadnim vodama, 44 % ukupnih količina onečišćujućih tvari (anorganskih i organskih onečišćujućih tvari te metala) u komunalnim otpadnim vodama ispušteno je u okoliš iz ispusta na kojima nema pročišćavanja ili se provodi tek prethodni stupanj pročišćavanja.

2.2. Razlike između jadranskog vodnog područja i vodnog područja rijeke Dunav

Kada se podaci o ispuštanju komunalnih otpadnih voda i stupnjevima pročišćavanja promatraju zasebno za svako vodno područje rezultati se razlikuju između jadranskog vodnog područja (JVP) i vodnog područja rijeke Dunav (VPD).

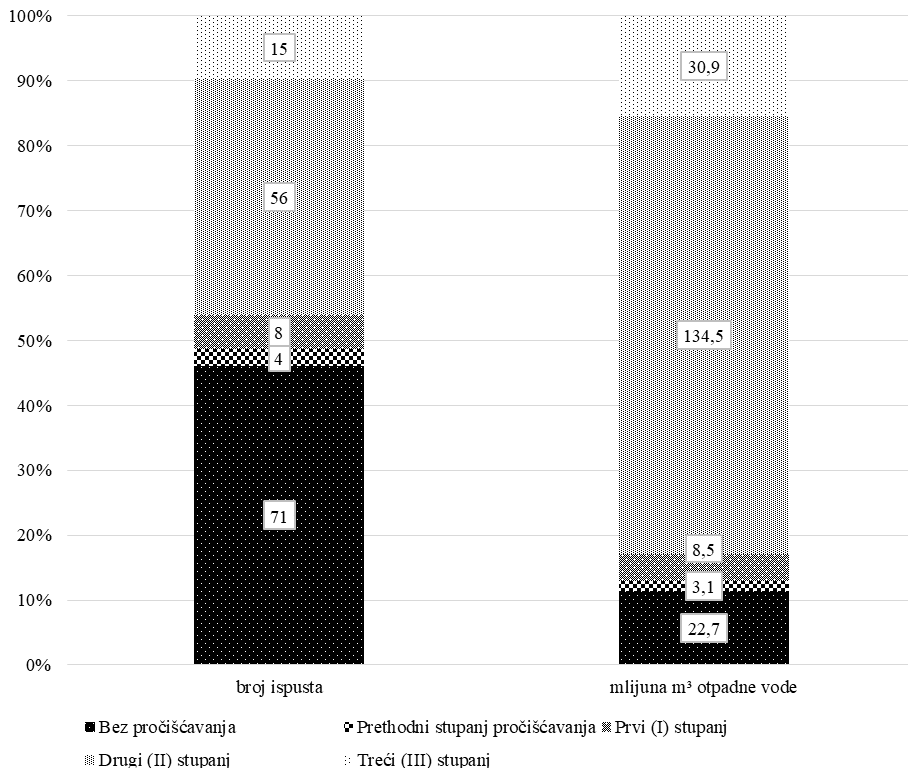
Za 2022. izvještajnu godinu na JVP na 138 ispusta prijavljeno je ispuštanje 80 milijuna m³ otpadne vode iz sustava javne odvodnje.



Slika 5. Usporedba udjela broj prijavljenih ispusta i količina ispuštenih otpadnih voda prema stupnju pročišćavanja na jadranskom vodnom području za 2022. godinu

Kada se promatra stupanj pročišćavanja primijenjen na pojedinom ispustu na JVP, najzastupljeniji su ispusti na kojima ili nema pročišćavanja (28 ispusta) ili je prijavljen prethodni stupanj pročišćavanja (42 ispusta), tj. 51 % pojedinačno prijavljenih ispusta na JVP, a na njima je ispušteno 39 % ispuštenih količina otpadnih voda na JVP. Prvi (I.) stupanj pročišćavanja prijavljen je na 17 ispusta i na njima je ispušteno 36,5 milijuna m³ otpadnih voda (45 %). Drugi (II.) stupanj pročišćavanja prijavljen je na 34 uređaja 9,3 milijuna m³ otpadnih voda (12 % ukupno ispuštenih otpadnih voda na JVP). Uređaja s trećim (III.) stupanj pročišćavanja prijavljeno je 17 te se na njima ispusti 3,1 milijun m³ otpadnih voda (4 %) (Slika 5.).

Na vodnom području rijeke Dunav za 2022. izvještajnu godinu prijavljena su 154 ispusta te je na njima ukupno ispušteno 200 milijuna m³ otpadne vode iz sustava javne odvodnje.



Slika 6. Usporedba udjela broja prijavljenih ispusta i količina ispuštenih otpadnih voda prema stupnju pročišćavanja na vodnom području rijeke Dunav za 2022. godinu

Za 71 ispust na VPD je prijavljeno kako na njima nema pročišćavanja, a prethodni stupanj pročišćavanja prijavljen je za četiri ispusta i oni zajedno čine 49 % prijavljenih ispusta na VPD. Na navedenim ispustima ispušteno 13 % ispuštenih količina otpadnih voda na VPD. Prvi (I.) stupanj pročišćavanja prijavljen je na osam ispusta i na njima je ispušteno 8,5 milijuna m³ otpadnih voda. Najzastupljeniji su ispusti / uređaji na kojima se primjenjuje drugi (II.) stupanj pročišćavanja, njih 56 i na njima je ispušteno 134,5 milijuna m³ otpadnih voda (67 % ukupno ispuštenih otpadnih voda na VPD). Uređaja s trećim (III.) stupanj pročišćavanja prijavljeno je 15 te se na njima ispusti 30,9 milijuna m³ otpadnih voda (16 %) (Slika 6.).

Iz prijavljenih podataka može se zaključiti kako na VPD postoji veliki broj uređaja za koje je prijavljeno kako na njima nema pročišćavanja, ali na njima se ispusti relativno mala količina otpadnih voda. Daleko najveći broj takvih ispusta prijavljen je u Krapinsko - zagorskoj županiji, u kojoj zbog konfiguracije terena i raspršenosti malih naselja nije izgrađen sustav javne odvodnje s pročišćavanjem otpadnih voda, već je samo izgrađen sustav prikupljanja otpadnih voda.

Na JVP je situacija drugačija. Prijavljen je relativno veliki broj uređaja s trećim (III.) stupnjem pročišćavanja, no na njima se ispusti relativno mala količina otpadnih voda, što ukazuje na činjenicu kako se radi o relativno malim uređajima, malog kapaciteta. U veli-

kim aglomeracijama na JVP poput Split - Solin u funkciji je uređaj s prvim (I.) stupnjem pročišćavanja, u aglomeraciji Rijeka uređaj s prethodnim stupnjem pročišćavanja.

2.3. Prijava ispusta sustava javne odvodnje u E-PRTR

Iz baze ROO u E-PRTR prijavljuju se i emisije, sukladno Prilogu 1. E-PRTR uredbe, iz djelatnosti 5.(f) Pogoni za preradu komunalnih otpadnih voda kapaciteta većeg ili jednakog 100.000 ekvivalenata stanovnika (ES), ukoliko su na navedenim uređajima prijeđeni pragovi ispuštanja sukladno Prilogu 2. E-PRTR uredbe. Prema prijavama u bazu ROO za 2022. oba uvjeta zadovoljava pet ispusta. Jedan na vodnom području rijeke Dunav (VPD) i to Centralni uređaj za obradu otpadnih voda grada Zagreba, te četiri ispusta na jadranskom vodnom području (JVP) (dva u Splitu te po jedan u Rijeci i Zadru).

ZAKLJUČAK

Pravilnikom ROO prenesena je Uredba E-PRTR i Protokol o PRTR-u čime je u Republici Hrvatskoj uspostavljen pravni okvir za izvješćivanje o zahtjevima za industrijska postrojenja, osigurani su pouzdani i usporedivi podaci o emisijama onečišćujućih tvari iz industrije te je povećana transparentnost i uključenost javnosti u donošenje odluka o okolišu. Iako su prijavljeni podaci u bazu ROO zadovoljavajuće kvalitete, potrebno je nastaviti rad na daljnjem poboljšanju prijavljenih setova podataka s naglaskom na one obveznike koji su predmet izvješćivanje prema Europskoj komisiji.

Sukladno novim ciljevima i politikama EU mijenjaju se i zahtjevi za izvješćivanje. S promjenama zahtjeva za izvješćivanja prema Europskoj komisiji Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja kontinuirano usklađuje nacionalne propise te nadograđuje bazu ROO.

LITERATURA

- [1] Beuk, M., Crnjak Thavenet, A., Graovac, G., Vranar, Z., Zanoški Hren, M., (2022.): *Izvešće o podacima iz Registra onečišćavanja okoliša za 2022. godinu*, MINGOR, Zagreb, Hrvatska

AUTOR

Zrinka Vranar, dipl. ing. ^a

^a Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Zavod za zaštitu okoliša i prirode, Radnička cesta 80, 10000 Zagreb, Hrvatska, zrinka.vranar@mingor.hr



R 3.07.

SUSTAV UPRAVLJANJA RIZICIMA NA EU SUFINANCIRANIM PROJEKTIMA VODNO - KOMUNALNOG GOSPODARSTVA

**Mariela Sjekavica Klepo, Domagoj Knežević,
Ivana Bašić, Hrvoje Meštrović**

SAŽETAK: Nacionalno vodnokomunalno gospodarstvo ostvaruje značajne benefite realizacijom mogućnosti sufinanciranja infrastrukturnih projekata iz EU fondova. Isto zahtjeva složene i specijalizirane sustave upravljanja projektima i procesima, a sve u svrhu ostvarenja obveza preuzetih iz EU Direktiva, te ciljeva i indikatora uspješnosti predmetnih projekata. Hrvatske vode u funkciji Posredničkog tijela 2 / Provedbenog tijela su tijekom niza godina uspostavile i kontinuirano razvijaju sustav upravljanja, praćenja i kontrole provedbe projekata, od kojih je jedan značajan dio i sustav upravljanja rizicima. Pri tom se rizicima u okviru predmetnog sustava upravlja na dvije razine: procesnoj i projektnoj. U ovom radu prikazat će se mehanizam obje razine upravljanja rizicima s ciljem dijeljenja stečenih znanja i iskustava svim dionicima vodnokomunalnih projekata, a sve u svrhu maksimiziranja dostupnih mogućnosti EU sufinanciranja.

KLJUČNE RIJEČI: EU sufinanciranje, Rizici, Proces, Projekti, Vodnokomunalno gospodarstvo

RISK MANAGEMENT SYSTEM ON EU CO - FINANCED WATER - UTILITY PROJECTS

ABSTRACT: The national water and wastewater sector obtains significant benefits through the implementation of co-financing opportunities for infrastructure projects from EU funds. This requires complex and specialized project and process management systems, all aimed at fulfilling the obligations arising from EU Directives, as well as the goals and performance indicators of these projects. Hrvatske vode (Croatian Waters), in their capacity as Intermediate Body Level 2 / Implementing Body, have established and continuously developed a management, monitoring, and control system for project implementation over years, which includes the risk management system a significant component. Within this system, risks are managed at two levels, the process level and the project level. This paper will present the mechanism for managing risks at both levels with the aim of sharing acquired knowledge and experiences with all stakeholders of water and wastewater projects in order to maximize the available opportunities for EU co-financing.

KEYWORDS: EU co-financing, Risks, Processes, Projects, Water and wastewater sector

1. UVOD

Vodno gospodarstvo ima iznimnu ulogu u društvenom i gospodarskom razvoju Republike Hrvatske. U okviru istoga na poseban se način svojom složenosti i značajem ističu infrastrukturni projekti sufinancirani iz fondova Europske unije. Trenutan portfelj za kojeg su Hrvatske vode nadležne u ulozi Posredničkog tijela razine 2 iz Operativnog programa „Konkurentnost i kohezija“ 2014. - 2020. broji 60 infrastrukturnih vodno - komunalnih projekata koji doprinose ostvarenju Specifičnih ciljeva 6ii1: Unaprjeđenje javnog vodoopskrbnog sustava sa svrhom osiguranja kvalitete i sigurnosti usluga opskrbe pitkom vodom te 6ii2: Razvoj sustava prikupljanja i obrade otpadnih voda sa ciljem doprinosa poboljšanju stanja voda.

Kako bi se na adekvatan način upravljalo postojećim portfeljem, potrebno je kreirati, koristiti i kontinuirano unaprjeđivati modularan sustav upravljanja projektima, što između ostalog podrazumijeva upravljanje vremenom, troškovima, opsegom, kvalitetom, interesnim dionicima, projektnim timovima, komunikacijom, nabavom, procesima i rizicima.

U kontekstu upravljanja rizicima u Hrvatskim vodama kao Posredničkom tijelu razine 2 postoje dvije razine na kojima se isto odvija: procesnoj i projektnoj.

Svrha upravljanja procesnim rizicima podrazumijeva osiguranje učinkovitog djelovanja Posredničkog tijela 2 u okviru cjelokupnog Sustava upravljanja i kontrole (u nastavku: SUK) ESI fondovima u Republici Hrvatskoj, a s ciljem uspješne apsorpcije sredstava iz ESI fondova.

Svrha upravljanja projektnim rizicima jest osigurati ostvarenje ciljeva projekta i povećati šanse za uspješnost projektnih poduhvata.

Cilj ovoga rada jest prikazati sustav upravljanja procesnim i projektnim rizicima koje Hrvatske vode kao Posredničko tijelo razine 2 koriste, radi podizanja nivoa zrelosti upravljanja rizicima na projektima i u poslovanju među svim dionicima EU projekata.

Rad je podijeljen na tri dijela. U prvom dijelu će se prikazati proces upravljanja procesnim rizicima sukladno relevantnim odredbama Zajedničkih nacionalnih pravila (Ministarstvo regionalnog razvoja i fondova Europske unije, 2020) te Priručnikom o procedurama (Hrvatske vode, 2021).

U drugom dijelu će se prikazati sustav i koraci upravljanja projektnim rizicima, uključivo i registar projektnih rizika.

Zaključno će se dati preporuke i smjernice za daljnja istraživanja.

2. UPRAVLJANJE PROCESNIM RIZICIMA

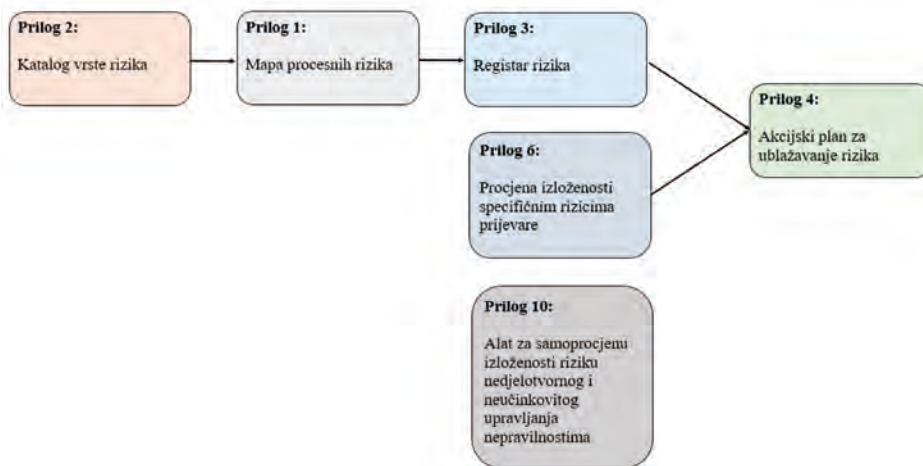
Aktivnosti upravljanja procesnim rizicima u Hrvatskim vodama kao Posredničkom tijelu razine 2 definirane su Zajedničkim nacionalnim pravilima (u nastavku: ZNP), konkretno Pravilom 10 te s njima usklađenim Priručnikom o procedurama, Pravilom 14 - Upravljanje rizicima. Pravilo 10 ZNP-a obuhvaća niz uputa koje je donijelo Ministarstvo regionalnog razvoja i fondova Europske unije u svojstvu Upravljačkog tijela, a u svrhu utvrđivanja standardiziranog upravljanja rizicima unutar tijela SUK-a. Sukladno predmetnom dokumentu, rizik se definira kao događaj ili problem koji se može pojaviti i utjecati na postizanje ciljeva postavljenih u svakom od tijela SUK-a kao i na ukupne aktivnosti ESI

fondova. Rizik se može također definirati kao potencijalna prijetnja, aktivnost, događaj ili propuštanje koje može uzrokovati nepravilnosti, neprihvatljive izdatke, financijske korekcije ili gubitak ugleda te biti prijetnja uspješnom obavljanju dodijeljenih funkcija tijela SUK-a ili cjelokupnog sustava Nadalje, ZNP poznaje i rizike od prijevara, koje opisuju širok spektar ponašanja u svrhu ostvarivanja, osobne koristi, koristi za povezanu osobu ili treću stranu, te ima štetan utjecaj na financijski učinak i šteti ugledu tijela SUK-a (Ministarstvo regionalnog razvoja i fondova Europske unije, 2020). U tom kontekstu procesni rizici poslovanja Hrvatskih voda u funkciji PT2 dijele se na sustavne rizike i rizike od prijevara. Rizici se identificiraju i procjenjuju na godišnjoj razini, u ožujku, te se izrađena godišnja procjena ažurira u rujnu.

Procesom upravljaju imenovane Osobe za upravljanje rizicima i Koordinatori za mjere protiv prijevara izvršavanjem sljedećih koraka:

- utvrđivanje sustavnih rizika i sustavna procjena rizika,
- razvijanje odgovora na utvrđene rizike,
- praćenje rizika i provedba akcijskih planova,
- procjena i utvrđivanje rizika od prijevara,
- ublažavanje rizika od prijevara,
- praćenje provedbe akcijskog plana za ublažavanje rizika od prijevara.

Koraci se odvijaju metodološkim popunjavanjem predefiniраних obrazaca - priloga Pravila 10 ZNP-a (Slika 1).



Slika 1. Prilozi ZNP-a, Pravilo 10: Upravljanje rizicima

ZNP ukupno definira 24 različite vrste sustavnih rizika u 4 kategorije (Slika 2), koji se potom razmatraju u kontekstu razine i dosega za sve poslovne procese.

Rizici se potom unose u Registar rizika, te se za njih definiraju adekvatne mjere u Akcijskom planu za ublažavanje, odgovorne osobe i rokovi za njihovu provedbu. Rizici od prijevara identificiraju se prema posebnoj metodologiji, razmatrani u fazi selekcije projekata, provedbe i provjere, plaćanja i ovjere te izravne nabave, te se u slučaju postojanja

unose u Akcijski plan, vodeći se načelom nulte stope tolerancije na rizike od prijevара i prijevarnog ponašanja.

Strateški	Relevantnost prema zahtjevima politike(a)
	Sustav unutarnje kontrole / procedure
	Održivost operacija tijela SUK-a
	Unutarnja organizacija
Financijski	Proračunski
	Ekonomičnost
	Tečaj
Poslovni / operativni	Ovlast i ograničenje
	Pravna usklađenost
	Pružanje usluga i kvaliteta
	Pracenje
	Pohranjivanje informacija i podataka
	Ljudski potencijali / kapaciteti
	Stručnost osoblja
	Angažiranje vanjskih suradnika
	Komunikacija i razmjena informacija
	Ugled
	Prijevara i nezakonitost
	Štetno ponašanje
Vanjska okolina	Zakonodavni
	Politički
	Vanjski partneri
	Ekonomski / financijski
	Viša sila

Slika 2. Hijerarhija sustavnih procesnih rizika (izvor: Ministarstvo regionalnog razvoja i fondova Europske unije, 2020; obrada autora)

Tijekom niza godina upravljanja procesnim rizicima, najveći kontinuirani rizik koji se ističe jest nedostatak adekvatnog osoblja kako bi se svladalo potrebno radno opterećenje, prvenstveno u kvantitativnom, ali i kvalitativnom smislu. Primijećena je fluktuacija osoblja, te ograničena razina organizacijskog učenja uslijed istoga. Kao najučinkovitija mjera ublažavanja predmetnog rizika i dalje ostaje provođenje natječaja za zapošljavanje i / ili osiguranje potrebnog broja djelatnika internom preraspodjelom, ali i stvaranje poticajnog i motivacijskog imidža poželjnog poslodavca i pružanja mogućnosti ostvarivanja karijere u svijetu ESI fondova.

3. UPRAVLJANJE PROJEKTNIM RIZICIMA

Proces upravljanja projektnim rizicima projekta obuhvaća identifikaciju, procjenu i učinkovito upravljanje ključnim rizicima koji imaju značajan utjecaj na uspješnost projekta. Prema prethodnim iskustvima, usmjerenost na odabir 5 - 10 ključnih rizika koji

kombiniraju visoku vjerojatnost i ozbiljne posljedice dokazala se kao koristan pristup, olakšavajući praćenje rizika i istovremeno upravljanje najutjecajnijim rizicima (Hrvatske vode, 2021). U okviru ugovora o konzultantskim uslugama razvoja sustava upravljanja projektima, izrađen je registar projektnih rizika, te su definirane procedure prikupljanja, pripadajuće analize i obrade podataka (Zajednica izvršitelja: Primakon d.o.o., Trialogue d.o.o., Project Program and Portfolio Expert d.o.o. za Hrvatske vode, 2020), prikazan u Tablici 1.

Tablica 1. *Registar rizika (Zajednica izvršitelja: Primakon d.o.o., Trialogue d.o.o., Project Program and Portfolio Expert d.o.o. za Hrvatske vode, 2020)*

VANJSKI IZVORI RIZIKA	1. POLITIČKI	1.1. Promjene zakonske regulative (građevinski propisi, javna nabava, ostali zakoni i propisi)
		1.2. Izbori - lokalni, državni
		1.3. Kašnjenje javnopravnih tijela u postupcima donošenja ostalih dozvola i odluka
	2. FINANCIJSKO EKONOMSKI	2.1. Ekonomska kriza
		2.2. Nedovoljna raspoloživost potencijalnih izvođača
		2.3. Promjena cijena građevinskih materijala i usluga
		2.4. Poteškoća u osiguravanju izvora financiranja
	3. DRUŠTVENI	3.1. Negativan stav lokalne zajednice prema projektu
		3.2. Nedovoljna podrška lokalne upravljačke strukture
	4. OKOLIŠ / PRIRODA	4.1. Prirodne katastrofe (potresi, poplave, požari)
4.2. Nepovoljni klimatski uvjeti		
4.3. Epidemija / Pandemija		
UNUTARNJI IZVORI RIZIKA	5. UPRAVLJANJE I ORGANIZACIJA	5.1. Nedostatak podrške od strane najvišeg menadžmenta
		5.2. Neadekvatni ljudski resursi uključeni u upravljanje projektom
		5.3. Nedovoljna koordinacija i komunikacija unutar tima i na cijelom projektu

UNUTARNJI IZVORI RIZIKA	6. JAVNA NABAVA	6.1. Neadekvatni ljudski resursi uključeni u pripremu i provedbu postupka javne nabave
		6.2. Kašnjenje u pripremi dokumentacije o nabavi
		6.3. Nedovoljna kvaliteta i pogreške u dokumentaciji o nabavi
		6.4. Kašnjenje u pregledu i ocjeni ponuda
		6.5. Žalba u bilo kojem dijelu postupka javne nabave
		6.6. Upravni spor
	7. PROJEKTNJA DOKUMENTACIJA	7.1. Nedovoljno kvaliteta i pogreške u projektnoj dokumentaciji
		7.2. Kašnjenje u isporuci projektne dokumentacije
		7.3. Kašnjenje u odobravanju projektne dokumentacije od strane Naručitelja
	8. LJUDI I LOGISTIKA	8.1. Nedostatak radne snage Izvođača
		8.2. Nesreće i incidenti na gradilištu
8.3. Nedostupnost potrebne opreme za rad		
8.4. Nedostupnost materijala i opreme koja se ugrađuje		
9. UGOVORNO PRAVNI	9.1. Kašnjenje u sklapanju ugovora nakon uspješno provedenog postupka javne nabave	
	9.2. Nepoznavanje ugovornih odredbi	
	9.3. Nekvalitetno upravljanje ugovornom dokumentacijom od strane Izvođača	
	9.4. Nekvalitetno upravljanje izmjenama	
	9.5. Nerealno kratki rokovi implementacije radova	
	9.6. Greške u ugovornoj dokumentaciji / loša kvaliteta ugovora	
	9.7. Loša organizacija i upravljanje izvođača	
	9.8. Nedovoljna gradililšna komunikacija i koordinacija između ugovornih strana	
	9.9. Nedovoljno isustvo dionika u upravljanju ugovorom (Nadzor, Izvođač, podizvođači)	
	9.10. Kašnjenje u rješavanju Izvođačevih potraživanja i rješavanju ugovornih sporova prije eskalacije	
	9.11. Kašnjenje u donošenju potrebnih odluka	

UNUTARNJI IZVORI RIZIKA	10. GRADILIŠNI I GRAĐEVINSKI RIZICI	10.1. Neriješeni imovinsko-pravni odnosi
		10.2. Neodgovarajući i neprecizni dinamički plan izvođenja radova
		10.3. Planirana tehnologija izvođenja ne odgovara stvarnom stanju na terenu
		10.4. Pogrešno iskolčenje objekta i nesklad s katastarskim planom
		10.5. Problemi u davanju prava pristupa gradilištu, otežan pristup gradilištu
		10.6. Nedovoljna koordinacija ili kašnjenje u dobivanju suglasnosti i zatvaranju pojedinih ulica radi izvođenja radova
		10.7. Pronalazak zaštitnih staništa i vrsta na lokaciji radova
		10.8. Količina radova bitno odstupa od ugovorene količine
		10.9. Neiskustvo i nekopetentnost izvođača, podizvođača ili dobavljača
	11. FIZIČKI UVJETI	11.1. Neočekivane geološko geotehničke karakteristike tla
		11.2. Arheološki ili konzervatorski zahtjevi i uvjeti odnosno nalazišta
		11.3. Razina podzemne vode veća od predviđene / očekivane
		11.4. Fizičke prepreke na koridoru izvođenja radova
		11.5. Zagađenja okoliša
		11.6. Nepovoljni terenski uvjeti

Pedesetčetiri različita rizika klasificirana su unutar 11 kategorija u okviru vanjskih i unutarnjih izvora rizika.

Procedura prikupljanja podataka o identificiranim rizicima provodi se putem primjene standardiziranog Microsoft Excel (2016) predloška od strane voditelja projekata ispred PT2, pri čemu se rizici evidentiraju skupno na razini ugovora sklopljenih prema odredbama Žute ili Crvene FIDIC knjige na projektu. Također, rizici se mogu kvalificirati kao već materijalizirani i buduće mogući u periodu trajanja projekta u trenutku vršenja procjene. Voditelji projekata primjenjuju metodu procjene značajnosti rizika koja se temelji na kombinaciji vjerojatnosti nastanka rizika i njegova potencijalnog utjecaja. Ova metoda razvrstava rizike u pet različitih razina značajnosti, rangirajući ih od beznačajnih do iznimno značajnih, primjer čega je dan na slici 3.

RIZICI		MATERIJALIZIRANI					BUDUĆI				
		IZNIMNO ZNAČAJAN	VELO ZNAČAJAN	ZNAČAJAN	SIKRO ZNAČAJAN	BEZNAČAJAN	IZNIMNO ZNAČAJAN	VELO ZNAČAJAN	ZNAČAJAN	SIKRO ZNAČAJAN	BEZNAČAJAN
1. Politički	1.1.										
	1.2.										
	1.3.										
2. Financijsko Ekonomski	2.1.										
	2.2.										
	2.3.										
	2.4.										
3. Društveni	3.1.										
	3.2.										
4. Okoliš Priroda	4.1.										
	4.2.										
	4.3.										

Slika 3. Prikaz primjera procjene značajnosti rizika

U domeni rizika procijenjenih kao iznimno značajnih, voditelji projekata provode detaljniju analizu koja obuhvaća karakteristike tih rizika i razvoj odgovora za nošenje s njima. To uključuje identifikaciju faze projektnog ciklusa u kojoj su se ti rizici pojavili ili se očekuje da će se pojaviti, specifikiranje aktivnosti unutar te faze, odabir strategije za odgovor na te rizike te preciziranje specifičnih karakteristika i konteksta svakog odgovora u okviru pojedinog projekta (Tablica 2).

Tablica 2. Prikaz primjera razvoja odgovora na iznimno značajan rizik

OZNAKA	R.2.4.
NAZIV	2.4. Poteškoća u osiguravanju izvora financiranja
MATERIJALIZIRANI/ BUDUĆI	Materijalizirani
STRATEGIJA ODGOVORA	Prijenos/dijeljenje
OPIS ODGOVORA (slobodan unos)	Projekt je inicijalno ugovoren u okviru programskog/ financijskog razdoblja OPZO 2007. - 2013., te je u fazi provedbe došlo do faziranja istog, odnosno prebacivanja dijela projekta u drugo programsko/financijsko razdoblje OPKK 2014. - 2020. U periodu dok nije bio sklopljen UoDBS za Fazu 2., trebalo je osigurati kontinuirano financiranje, što je osigurano Ugovorima o sufinanciranju (Hrvatske vode su podmirivale i EU i nacionalni dio).
FAZA PROJEKTOG CIKLUSA	Izvođenje
AKTIVNOST FAZE	12. Izvođenje radova, nabava roba, pružanje usluga

Na razini portfelja, proces analize i obrade podataka izvodi se temeljem sustavnog pristupa, pri čemu se prikupljeni podaci o rizicima i njihovim specifičnim obilježjima u okviru pojedinih projekata sintetiziraju u općenite karakteristike koje su lako prepoznatljive i međusobno usporedive. U postupku se primjenjuje Paretovo pravilo 80 / 20, prema kojem vrijedi da je 20 % najučestalijih i najznačajnijih rizika odgovorno za 80 % problema koji se javljaju na projektima. To znači da se može ciljano usmjeriti resurse i napore na

rješavanje 20 % najkritičnijih identificiranih rizika kako bi se postiglo optimalno upravljanje cijelim portfeljem (Sjekavica Klepo i sur., 2023).

Kompletan opisan proces upravljanja projektnim rizicima prikazan je na slici 4.



Slika 4. Ciklus upravljanja rizicima na razini projekta i portfelja

Prilikom zadnje izvršene godišnje analize u ožujku 2023. identificirani su najznačajniji rizici na portfelju i prikazani su u Tablici 3.

Tablica 3. Najkritičniji najpojavniji rizici projekata vodno - komunalnog gospodarstva (Sjekavica Klepo i sur., 2023, obrada autora)

CRVENA FIDIC KNJIGA - RIZICI		ŽUTA FIDIC KNJIGA - RIZICI	
SERIJALIZIRANI	BUDUĆI	MATERIJALIZIRANI	BUDUĆI
R.8.1 Nedostatak radne snage Izvođača	R.2.3 Promjena cijena građevinskih materijala i usluga	R.1.3 Kašnjenje javnopravnih tijela u postupcima donošenja ostalih dozvola i odluka	R.2.3 Promjena cijena građevinskih materijala i usluga
R.4.3 Epidemija / Pandemija	R.2.4 Poteškoća u osiguravanju izvora financiranja	R.6.5 Žalba u bilo kojem dijelu postupka javne nabave	R.2.4 Poteškoća u osiguravanju izvora financiranja
R.7.1 Nedovoljna kvaliteta i pogreške u projektnoj dokumentaciji			

ZAKLJUČAK

U radu je dan prikaz cjelovitog ciklusa upravljanja rizicima u Hrvatskim vodama kao PT2 na dvije razine: procesnoj i projektnoj. Najznačajniji procesni rizik vezan je uz upravljanje ljudskim potencijalima, odnosno nedostatak adekvatnog broja osoblja radi svladavanja radnog opterećenja sukladno analizama radnog opterećenja, ali i gubitak visokokvalificiranog osoblja.

Vežano za projektne rizike, kao najznačajniji na portfelju ističu se oni vezani uz promjene cijena i posljedično, poteškoće u osiguravanju izvora financiranja, s kojima se SUK i Korisnici ESI fondova aktualno suočavaju razvojem odgovora na sustavnoj, institucionalnoj, te posljedično projektnoj razini.

Buduća istraživanja mogla bi biti usmjerena ka identifikaciji predefiniраниh odgovora na najpojavnije rizike, kako bi proces implementacije učinkovitih odgovora na rizike bio maksimalno efikasan, osobito za one rizike koji nisu *a priori* rješivi na projektnoj razini.

LITERATURA

- [1] Hrvatske vode (2021): Priručnik o procedurama Posredničkog tijela 2 za Operativni program „Konkurentnost i kohezija“ 2014. - 2020., v.4.0., Zagreb.
- [2] Hrvatske vode (2021): Vodič za upravljanje projektima u vodnom gospodarstvu, v.1.2., Zagreb.
- [3] Microsoft Corporation, Microsoft Excel (Version 2016) [Computer software], Redmond, WA: Microsoft Corporation.
- [4] Ministarstvo regionalnog razvoja i fondova Europske unije (2020): Zajednička nacionalna pravila za Operativni program „Konkurentnost i kohezija“ 2014. - 2020., v.7.0.-7.1., Zagreb, dostupno na: <https://strukturnifondovi.hr/eu-fondovi/esi-fondovi-2014-2020/op-konkurentnost-i-kohezija/> (preuzeto: 12.9.2023.)
- [5] Zajednica izvršitelja: Primakon d.o.o., Trialogue d.o.o., Project Program and Portfolio Expert d.o.o. za Hrvatske vode (2020): Ugovor o konzultantskim uslugama, Grupa 5: Razvoj sustava upravljanja projektima, ev.br. ev.br. 32-022/20, Projekt KK.10.1.1.01.0010. Tehnička pomoć za Hrvatske vode, Zagreb.
- [6] Sjekavica Klepo M., Knežević D., Knežević T., Meštrović H. (2023): *Artificial intelligence in risk management system on infrastructure projects*, Proceedings of the Creative Construction Conference 2023 (Editors: Skibniewski, M.J. and Hajdu, M.), Budapest University of Technology and Economics, Keszthely, Hungary, pp. 208-214.

AUTORI

doc. dr. sc. Mariela Sjekavica Klepo, mag. ing. aedif. ^a

Domagoj Knežević, mag. ing. aedif. ^b

Ivana Bašić, dipl. ing. građ. ^a,

mr. sc. Hrvoje Meštrović, dipl. ing. građ. ^b

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska,
mariela.sjekavica@voda.hr, ivana.basic@voda.hr

^b Primakon d.o.o., Tratinska 1, Zagreb, 10000, Hrvatska, dk@primakon.com,
hrvoje@primakon.com



R 3.08.

USPOREDBA SUSTAVA OBORINSKE ODVODNJE - KONVENCIONALNI I ZELENA INFRASTRUKTURA

Dejan Kovačević, Gorana Ćosić-Flajsig, Dario Pavlović, Ivan Šimunc

SAŽETAK: Uslijed pojave klimatskih promjena sve su češći slučajevi pojavljivanja velikih količina oborina. Upravo zbog velikih kiša koje su pogodile grad Zagreb u srpnju 2020. godine došlo je do plavljenja prostorija zgrade Tehničkog veleučilišta u Zagrebu. Dio trenutnih sustava odvodnje oborinskih voda nije projektiran na tako velike oborine, te su stoga sve češće pojave poplava prostorija smještenih u podrumu. Posljedično, dolazi do potrebe za izgradnjom boljeg sustava oborinske odvodnje. Trenutno rješenje se sastoji od tri slivnika, koji nisu spojeni na javni sustav oborinske odvodnje, iz kojih se voda ispušta u podzemlje. Novo klasično rješenje predviđa da će se voda skupljati pomoću linijske rešetke, sabirnika i odgovarajuće crpne stanice. Za primjer rješenja odvodnje zelenom infrastrukturom odabran je porozni zastor koji će se usporediti s rješenjem klasične odvodnje.

KLJUČNE RIJEČI: Oborinska odvodnja, Slivnik, Parkiralište, Crpna stanica, Zelena infrastruktura, Porozni zastor

A COMPARISON OF STORMWATER DRAINAGE SYSTEMS - CON- VENTIONAL SYSTEMS AND GREEN INFRASTRUCTURE

ABSTRACT: Due to climate change, the occurrences of heavy rainfall is becoming increasingly frequent, as was the case in July 2022 when the buildings of the Zagreb University of Applied Sciences were flooded. A part of current stormwater drainage systems were not designed for such heavy rainfall, leading to more frequent flooding of facilities located in basements. Consequently, there is a need for the construction of a better stormwater drainage system. The current solution consists of three drains, not connected to the public stormwater drainage system, which discharge water into the underground. The new conventional solution for water collection consists of a line screen, collector and adequate pumping station, which will be compared with permeable surfacing (pavement) as a green infrastructure solution.

KEYWORDS: Stormwater drainage, Drain, Parking lot, Pumping station, Green infrastructure, Permeable pavement

1. UVOD

Usljedi klimatskih promjena sve se češće pojavljuju ekstremne oborine. Dio trenutnih sustava odvodnje oborinskih voda nije projektiran na ekstremne oborine, te su stoga sve češće pojave poplava podrumskih ili drugih prostorija zgrada koja uzrokuju značajne financijske štete. Kod kiša velikog intenziteta, kao što je kiša koja je pogodila grad Zagreb u noći s 24. na 25. srpanj 2020. godine, došlo je do plavljenja prostorija u prizemlju zgrade Tehničkog veleučilišta u Zagrebu. Analizom navedenog kišnog događaja utvrđeno je da je potrebno izgraditi funkcionalniji sustav oborinske odvodnje. S istočne strane zgrade nalazi se nepropusni parkirni plato koji je ujedno i dio slivne površine na kojoj se formira površinsko otjecanje. Kako više ne bi dolazilo do poplavlivanja, potrebno je izvesti rekonstrukciju parkirišta i izraditi tehničko rješenje novog sustava oborinske odvodnje. U radu su analizirana i uspoređena dva tehnička rješenja, i to: rješenje primjene klasičnog sustava odvodnje i rješenje primjene zelene infrastrukture - porozni asfalt.

2. POSTOJEĆE STANJE

Veličina parkirnog platoa je oko 1200 m², a maksimalni dotok sa slivnih površina iznosi $Q = 40$ l/s. Trenutno rješenje se sastoji od tri slivnika iz kojih se voda ispušta u podzemlje. Slivnici su postavljeni plitko na 50 cm te su serijski spojeni do najnižeg slivnika. Svaki slivnik je u funkciji upojnog bunara. Na Slici 1, zaokruženo crvenom bojom, vidi se smještaj parkirnog platoa u prostoru.



Slika 1. Smještaj parkirnog platoa u prostoru

Na slici 2 može se vidjeti, postojeće stanje u kišnom periodu, a na slici 3 može se vidjeti Stanje nakon „slabe kiše“.



Slika 2. Postojeće stanje u sušnom periodu

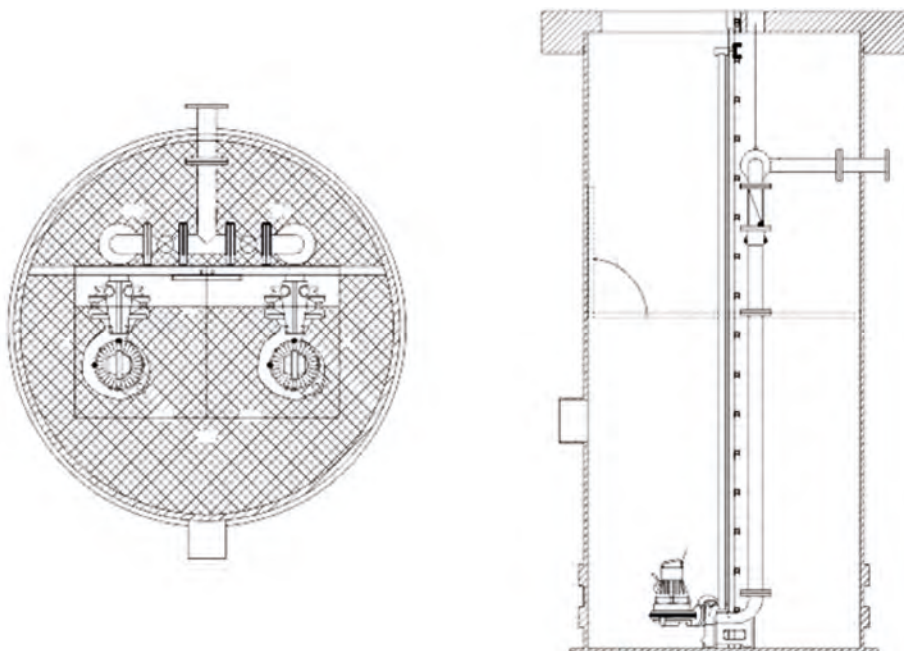


Slika 3. Stanje nakon „slabe“ kiše

3. KLASIČNI SUSTAV ODOVODNJE

Tehničko rješenje konvencionalnog sustava odvodnje planira sakupljanje vode pomoću linijske rešetke, sabirnika i odgovarajuće crpne stanice. Novim rješenjem klasičnim sustavom odvodnje planira se za sakupljanje oborinskih voda na parkiralištu veličine cca. 490 m² izvesti linijska rešetka izrađena od polimer betona otpornog na koroziju, smrzavanje i soli, te razreda opterećenja D 400 mm. Linijska rešetka je duljine 16 metara, a zadaća joj je da odvodi vodu do sabirnika koji imaju izljevni otvor DN100 i iz kojih voda nastavlja do crpne stanice. Takav tip rešetke pogodan je za primjenu na poprečnim i uzdužnim odvodnjama ceste, pješačkim zonama, školskim dvorištima, željezničkim peronima i parkiralištima zbog čega je idealan za ovaj konkretan slučaj. Širina linijske rešetke iznosi 150 mm, a širina dijela rešetke, odnosno kanala kroz koji voda može proći je 100 mm. S obzirom na to da je cijela površina terena na parkiralištu pod određenim nagibom, rešetka se planira postaviti tako da se središnji sabirnik nalazi na najnižoj visinskoj koti. U sabirniku se ugrađuje taložnica dubine 1,0 m kako bi se spriječio ulaz krupnih i taloživih tvari u CS. Kako se parkiralište nalazi na nižoj visinskoj koti od uličnog kolektora na koji je predviđen spoj nove trase odvodnje potrebna je ugradnja crpne stanice iz koje bi voda uz pomoć crpki mogla doći do uličnog kolektora. Crpna stanica planira se postaviti 1.5 metara od središnjeg sabirnika. Ovo rješenje ne predviđa izgradnju separatora masti i ulja budući da se voda s prometnih površina ulijeva u sustav javne odvodnje. Kako se na rešetci nalaze tri sabirnika tako je potrebna i ugradnja tri nova kolektora koji bi odvodili vodu od same rešetke do crpne stanice. Iz crpne stanice voda bi se tlačnim kolektorom odvodila do uličnog kolektora. Predviđeni tlačni kolektor ukupne je duljine 55 metara i promjera DN 250 mm. Pri proračunu za dimenzioniranje crpne stanice uzeti su intenziteti 140 l/s/ha koji se uzima za grad Zagreb pri kojem dotok iznosi $Q = 13$ l/s i razmatran je pljusak od 445 l/s/ha pri kojem dotok iznosi $Q = 40$ l/s. Uzet je veliki intenzitet jer su ulazi u objekt smješteni u razini terena i dolazi do plavljenja istih kod jačih kiša. Kućišta se rade s posebnim ojačanjima za uklještenje na betonsku podlogu zbog utjecaja podzemnih voda.

Montažna crpna stanica odabrana je radi jednostavnosti i brzine gradnje u odnosu na monolitnu crpnu stanicu. Brzina gradnje važna je zbog potreba održavanja nastave u samoj zgradi. Potrebno je uzeti u obzir blizinu zgrada Tehničkog veleučilišta u Zagrebu. Sama crpna stanica nalazi na dubini - 4,2 m tlocrtno dimenzije 4,6 x 4,6 m. Prilikom izvedbe građevinske jame istu je potrebno zaštititi talpama radi sprječavanja eventualnog urušavanja jame i samog objekta. Sve navedeno dodatno poskupljuje konačnu izvedbu objekta. Na slici 4 mogu se vidjeti poprečni presjeci crpne stanice.

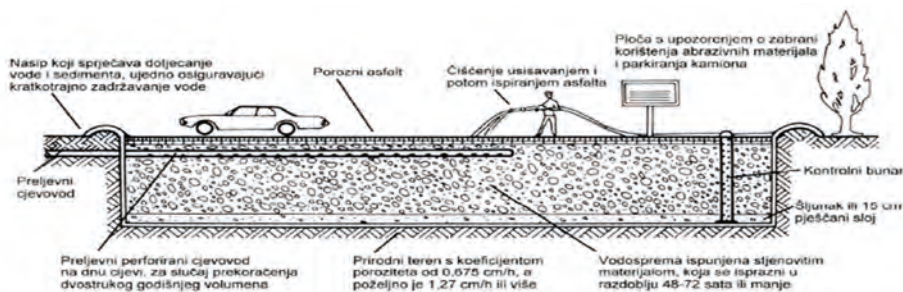


Slika 4. Poprečni presjeci crpne stanice (Hobas, ENA 2012)

4. ZELENA INFRASTRUKTURA - POROZNI ASFALT

Tehničko rješenje odvodnje parkirnog platoa uključuje primjenu zelene infrastrukture. To je porozni asfalt, materijal kojim je moguće promijeniti klasičan sustav odvodnje sa prometnica i parkirališnih površina. Porozni asfalt ima dobre karakteristike smanjenja volumena otjecanja zbog infiltracije i sposobnosti nezapaženog uklapanja u karakterističan urbani krajolik.

Jedna od prednosti poroznih asfalta je utjecaj na upravljanje sustavima javne vodoopskrbe obogaćivanjem vodonosnika infiltriranjem pročišćene vode u tlo i u vodonosnik, kao i mogućnost pohrane vode za ponovno korištenje. Na slici 5 može se vidjeti karakteristični presjek poroznog asfalta s vodospremnom.



Slika 5: Presjek poroznog asfalta (Margeta J., 2007)

Porozni asfaltni sloj izvodi se dubine od 5 do 10 cm, ovisno o potrebnoj nosivosti i proračunu kolničke konstrukcije. Može se pretpostaviti da porozni zastor sadrži 18 % šupljina (poroznost = 0,18), odnosno sloj poroznog zastora debljine 10 cm propustio bi 1,8 cm oborine. Gornji filtarski sloj sastoji od drobljenog kamena promjera 12,5 mm do dubine od 2,5 do 5 cm. Ovaj sloj služi za stabilizaciju sloja poroznog asfalta. Može se kombinirati sa slojem prikladnog kamena. Filterska tkanina važan je sastavni dio građevine poroznog zastora. Građevnu jamu, uključujući i njene stranice, potrebno je obložiti filterskom tkaninom prije ugradbe agregata, koja ima važnu funkciju pri sprečavanju ispiranja agregata u temeljni sloj tla što može uzrokovati smanjenje kapaciteta upojnosti (Debo, T. N., 1995). Obično se filterska tkanina postavlja na vrh podloge kako bi se spriječio ulaz sitnih čestica u spremnik. Radi kvalitetne izvedbe preporučuje se preklapanje filterske tkanine. U spremniku za vodu, osnovni sloj šljunka sastoji se od ispranog riječnog šljunka 37,5 do 62,5 mm promjera s praznim prostorom od oko 40 - 50 %. Donji filtarski sloj sastoji se od sloja pijeska debljine 15 cm ili sloja debljine 5 cm od 12,5 mm u drobljenom kamenu i mora biti potpuno ravan kako bi se pospješila infiltracija po cijeloj površini. Ovaj sloj služi za stabilizaciju spremnika vode, kako bi zaštitilo temeljno tlo od zbijanja i začepijavanja. Temeljni sloj tla mora imati odgovarajući infiltracijaski kapacitet od najmanje 7 mm/sat ili bolje 13 mm/sat i to do dubine od 1,2 m. Građevina poroznog asfalta ne samo da služi odvodnji samog parkirališta nego i uklanja onečišćenje, a učinkovitost uklanjanja onečišćenja poroznog zastora može se vidjeti u tablici 1 (Margeta J., 2007).

Tablica 1. Učinkovitost poroznog zastora (Margeta J., 2007)

Onečišćenje	Učinkovitost (%)
Sediment	82-95
Ukupni fosfor	65
Ukupni dušik	80-85
KPK	82
Cink	99
Olovo	98

U ovom primjeru, obzirom da Zagreb leži na šljunkovito-pjeskovitim nanosima rijeke Save, čija razina podzemne vode varira od 3 - 10 m ispod razine tla, odabrani zastori biti će tipa potpune infiltracije u tlo (HGI, 2018). Računski intenzitet je 140 l/s/ha, a pret-

postavljena brzina infiltracije u tlo je 7,2 mm/sat (Margeta J., 2009). Volumen oborinskog dotoka iznosi 60,5 m³, a visina retencijskog sloja iznosi 0,4 m za planiranu 24 - satnu retenciju s udjelom šupljina od 0,4 uz potrebnu površinu poroznog zastora od 360 m². Računski intenzitet je 450 l/s/ha, a pretpostavljena brzina infiltracije u tlo je 7,2 mm/sat (Margeta J., 2007). Volumen oborinskog dotoka iznosi 324 m³, a visina retencijskog sloja iznosi 0,4 m za planiranu 24 - satnu retenciju s udjelom šupljina od 0,4 uz potrebnu površinu poroznog zastora od 1.928 m². Pretpostavlja se da je dubina podzemne vode 5,0 m ispod dna spremnika. Udaljenost dna spremnika do nivoa podzemne vode iznosi 4,6 m, te se može postići potpuna infiltracija oborinske vode u tlo. Vrlo je važno redovito održavanje poroznih zastora, a u tablici 2 prikazane su tipične aktivnosti kod inicijalno, pregleda i jedanput mjesečno tijekom 3 mjeseca nakon puštanja u pogon.

Tablica 2. Tipične aktivnosti održavanja poroznih zastora (Debo, T. N., 1995)

Inicijalni pregled	Jedanput mjesečno tijekom 3 mjeseca nakon puštanja u pogon
Provjeriti da na poroznoj površini kolnika nema taloga	Mjesečno
Osigurati da je slivno područje stabilizirano i pokošeno	Prema potrebi, na temelju inspekcije
Vakuumsko čišćenje porozne površine nakon čega slijedi čišćenje s visokotlačnim crijevom radi osiguranja pore bez taloga	Četiri puta godišnje
Provjeriti ima li na površini oštećenja ili pukotina Provjeriti ispušta li se voda iz sustava između kišnih događaja	Godišnje
Problem dijelova kolnika sa začepljenjima može se riješiti bušenjem rupa od 1,0 cm kroz površinu kolnika na razmaku od 30 cm	Nakon začepljenja
Sanacija sustava poroznog zastora uključujući gornji i nosivi sloj ako je potrebna	Po potrebi

U nastavku, na slici 6 prikazan je primjer čišćenja poroznog asfalta.



Slika 6. Primjer čišćenja poroznog asfalta (Debo, T. N., 1995)

Površina slivnog područja iznosi 0,12 ha a površina prostora predviđenog za porozni zastor je 390 m² dok je ukupna površina parkirališta 490 m². Ukupnu površinu parkirališta nije moguće u potpunosti iskoristiti radi smještaja zgrada po rubu parkirališta. Tehničko rješenje građevine poroznog asfalta nije prihvatljivo jer nije moguće osigurati dovoljnu površinu za smještaj poroznog asfalta za vrijeme trajanja jaekih oborina.

ZAKLJUČAK

Korištenje poroznog asfalta, kao objekta višenamjenske funkcije zelene infrastrukture, pored povoljnog učinka na uklanjanju onečišćenja djeluju vrlo uspješno kao regulator otjecanja zadržavaju i do 90 % od ukupnog dotoka oborinske vode. Zbog navedene osobine smanjuje se ili ukida potreba za ugradnjom rubnjaka i rigola, slivnika, kanala, retencijskih spremnika i dr. Održavanje građevina poroznog asfalta relativno je jednostavno i ne iziskuje velike troškove. Dodatna pogodnost može biti i u obogaćivanju vodonosnika. Njihova primjena je svakako dobra (jeftinija su i višenamjenska), te ih poželjno je koristiti na parkiralištima gdje postoji dovoljno mjesta za smještaj građevina poroznog asfalta. U ovom slučaju raspoloživa površina parkirališta za smještaj građevine poroznog asfalta iznosi 390 m². Proračunata površina za intenzitet od 140 l/s/ha iznosi 360 m² dok je potrebna površina za intenzitet od 450 l/s/ha iznosi 1.928 m².

Iz primjera je vidljivo da je potrebna veća upojna površina kod pojave jačih oborina jer raspoloživa površina nema dovoljan kapacitet, što se direktno reflektira na pojavu novih poplava koje će uzrokovati značajne materijalne štete na objektu.

Ovaj prikazani primjer zahtijeva ugradnju klasičnog sustava odvodnje sa crpnom stanicom jer su ulazi u objekt smješteni u razini terena i dolazi do plavljenja istih kod jačih kiša.

LITERATURA

- [1] Debo, T. N. (1995): *Municipal stormwater management*, Florida, 1154 str.
- [2] Hobas, ENA (2012): *tipska kanalizacijska crpna stanica PSAW H+E - katalog*, 20 str.
- [3] HGI, Z. (2018): *Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda*, Zagreb: Hrvatski geološki institut, 56 str.
- [4] Kvadrat.hr. (2015): *Suha cesta i po najvećem pljusk*, Dohvaćeno iz: <http://www.kvadrat.hr/suha-cesta-i-po-najvecem-pljusk/>
- [5] Malus, D., (2000): *Studija odvodnje prometnica - zaštita okoliša od negativnog djelovanja*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 114 str.
- [6] Margeta J. (2007): *Oborinske i otpadne vode: teret onečišćenja, mjere zaštite*, Sveučilište u Splitu, Građevinsko - arhitektonski fakultet, Split, 290 str.
- [7] Šimunec I, (2022.): *Idejno rješenje oborinske odvodnje istočnog parkirnog platoa zgrade V. Holjevca 15 – završni rad* (Tehničko veleučilište u Zagrebu - graditeljski odjel), 54 str.

AUTORI

Dejan Kovačević, dipl. ing. građ. ^a
dr. sc. Gorana Ćosić-Flajsig ^a
dipl. ing. građ., Dario Pavlović ^a
mag. ing. aedif., Ivan Šimunec, bacc. ing. aedif ^b

^a Tehničko veleučilište u Zagrebu, Graditeljski odjel, Av.V. Holjevca 15, 10000 Zagreb, Hrvatska, dkovacev2@tvz.hr

^b Student Tehničkog veleučilišta u Zagrebu, Graditeljski odjel, Av.V. Holjevca 15, 10000 Zagreb, Hrvatska



R 3.09.

ANALIZA INFILTRACIJSKOG POTENCIJALA I REDUKCIJE NEPROPUSNIH POVRŠINA NA PODRUČJU STUDENTSKOG KAMPUSA U OSIJEKU

**Željko Šreng, Marija Šperac, Tamara Brleković,
Ivana Sušanj Čule, Marta Šćuka**

SAŽETAK: U radu je povedena metodologija za procjenu infiltracijskog potencijala područja i potencijala redukcije nepropusnih površina studentskog kampusa u Osijeku. Cilj analize je definirati mogućnost primjene integralnog zbrinjavanja oborinskih voda na području studentskog kampusa i predložiti neke od najboljih postupaka upravljanja. Trenutno se sva oborinska voda s krovova i ostalih nepropusnih površina s područja kampusa prikuplja i distribuira mješovitom sustavom odvodnje. Kako je gradska kanalizacija na nekim dijelovima izgrađena još 80 - tih godina prošlog stoljeća, nameće se potreba za detaljnijom analizom otjecanja. Zbrinjavanje oborinske vode treba imati važnu ulogu prilikom urbanističkog planiranja jer osim ekološkog sadrži i značajan ekonomski potencijal. Jedan od načina integriranja problematike zbrinjavanja oborinske vode u urbanističko planiranje je i metodologija provedena u ovom radu. Metodologija se zasniva na analizi dostupnih podloga (mapa izgrađenosti, namjene zemljišta, digitalni model terena, karakteristika infiltracijskog sloja i udaljenosti nivoa podzemne vode od površine terena) i kreiranju mape infiltracijskog potencijala. Iz mape infiltracijskog potencijala, kreirane u QGIS sučelju, definirana je dostupna površina za moguću infiltraciju oborinske vode. Na temelju digitalnog modela terena i položaja kanalizacijskih cijevi definirane su nepropusne površine koje se mogu odvojiti od kanalizacijske mreže. Na kraju su predložena tehnička rješenja redukcije nepropusnih površina, odnosno lokacija i tip najboljih postupaka upravljanja.

KLJUČNE RIJEČI: Infiltracijski potencijal zemljišta, Redukcija nepropusnih površina, Integralno upravljanje oborinskim vodama, Kampus Osijek

ANALYSIS OF THE INFILTRATION POTENTIAL AND REDUCTION OF IMPERMEABLE SURFACES IN THE AREA OF THE STUDENT CAMPUS IN OSIJEK

ABSTRACT: The paper presents a methodology for assessing the infiltration potential of the area and the reduction potential of impervious surfaces at the student campus in Osijek. The purpose of the analysis is to determine a possibility of applying integrated

stormwater management in the area of the student campus and to propose some of the best management procedures. At present, all rainwater from the roofs and other impervious surfaces in the campus area is collected and distributed through a combined sewer system. Since some segments of the city sewer system were built in the 1980s, there is a need for a more detailed analysis of the runoff. Stormwater management should play an important role in urban planning because, in addition to ecological potential, it also contains a significant economic potential. The methodology implemented in this paper represents a potential manner of integrating stormwater management into urban planning. The methodology is based on the analysis of available information (map of built areas, land use, digital model of the terrain, characteristics of the infiltration layer, and groundwater level distance from the terrain surface) and the creation of the infiltration potential map, from which is created in the QGIS interface and which determines the available surface for potential stormwater infiltration. Based on the digital model of the terrain and the position of the sewer pipes, impermeable surfaces that can be separated from the sewer network are defined. In conclusion, technical solutions for a reduction of impervious surfaces, i.e. the location and type of best management procedures, are proposed.

KEYWORDS: Infiltration potential of the soil, Reduction of impervious urban areas, Integrated stormwater management, Osijek campus

1. UVOD

Razvoj urbanih sredina rezultira povećanjem nepropusnih površina koje obuhvaćaju ceste, natkrivene prostore, parkirališta, nogostupe i slično. U odnosu na prije razvojno, prirodno stanje, znatno veća količina oborine tada sudjeluje u otjecanju, manja količina vode se infiltrira i prihranjuje podzemlje, a veća količina oborine isparava. Prema LID (1999) pri udjelu od 75 do 100 % nepropusnih površina na slivu, oko 55 % ukupne oborine površinski otječe, 15 % se infiltrira, a 30 % oborine ispari. Promjene u okolišu tako neizbježno oblikuju mikroklimu područja. Dodatno, konstantna urbanizacija, odnosno izgradnja novih objekata, parkirališta i sličnih nepropusnih površina dovodi do promijenjenih uvjeta otjecanja u odnosu na one na koje je postojeća kanalizacijska infrastruktura dimenzionirana. Analizom i procjenom topografskih, geoloških i hidroloških karakteristika područja te identifikacijom mogućnosti zbrinjavanja oborinskih voda postaviti će se dobra baza za održivo planiranje i dizajn urbanog područja (Wong, 2001, UDFCD, 2006). Zbrinjavanje oborinske vode treba imati važnu ulogu prilikom urbanističkog planiranja jer, osim ekološkog, sadrži i značajan ekonomski potencijal. Zbog toga je važno arhitekta i donosiocima odluka upoznati s konceptom integralnog upravljanja oborinskim vodama. Integralno upravljanje, najjednostavnije rečeno, oborinsku vodu promatra kao resurs, sa ciljem zadržavanja iste na slivu, radi smanjenja utjecaja na hidrološku sliku područja, ali i smanjenja negativnog utjecaja na nizvodna područjima.

U radu je prikazana provedba metodologije za određivanje infiltracijskog potencijala PP i potencijala redukcije nepropusnih površina PR područja kampusa Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Provedenom metodologijom cilj je definirati potencijal primjene integralnog upravljanja oborinskim vodama na promatranom području te predložiti neke od najboljih praksi upravljanja. Napravljena je analiza i procjena potencijala infiltracije i redukcije nepropusnih površina za sadašnje i buduće stanje izgrađenosti.

Za provedbu procjene potencijala infiltracije PP i redukcije nepropusnih površina PR potrebno je definirati vrste površina koje se koriste u metodi. Površine se kategoriziraju kao:

- kanalizirana površina A_{kan} - predstavlja svu površinu koja je izgrađena ili neizgrađena, propusna ili nepropusna, a gravitira prema kanalizacijskom mreži,
- izgrađeno područje - obuhvaća svu površinu krovova zgrada,
- nepropusni otvoreni prostor - predstavlja svu površinu koja je potpuno ili djelomično nepropusna za vodu (trgovi, parkirališta, prometnice i slično),
- nepropusna površina A_{neprop} - zbroj izgrađenog područja i nepropusnog otvorenog prostora,
- propusna površina A_{prop} - površina koja je pokrivena prirodnom vegetacijom s mogućnošću infiltracije oborinske vode (ova površina nudi prostor za implementaciju najboljih praksi upravljanja - potencijalno dostupna površina infiltracije $A_{inf.pot}$),
- područja ograničenja A_{ogr} - površina na kojoj se zbog određenih razloga ne mogu izvoditi najbolje prakse upravljanja oborinskim vodama,
- potencijalno dostupna propusna površina $A_{pot.prop}$ - propusna površina umanjena za područje ograničenja,

$$A_{pot.prop} = A_{prop} - A_{ogr} \quad (1)$$

- potencijalno dostupna infiltracijska površina $A_{inf.pot}$ - prostor pogodan za implementaciju najboljih praksi upravljanja,
- potrebna površina za infiltraciju $A_{potr.inf}$ - potrebna površina za prihvatanje oborinske vode sa sliva, prvenstveno nepropusnih površina, ovisi o karakteristikama terena i količini nepropusne površine
- odvojiva površina $A_{neprop.odv}$ - obuhvaća sve izgrađene ili nepropusne površine koje se mogu odvojiti od kanalizacijskog sustava zbog prostorne blizine potencijalno dostupnom području infiltracije.

Numerička vrijednost infiltracijskog potencijala PP izražava se na sljedeći način (Sudar i drugi, 2022):

$$PP = \frac{A_{pot.prop}}{A_{potr.inf}} [\%] \quad (2)$$

Potencijal redukcije nepropusnih površina PR ukazuje na potencijal usmjeravanja nepropusnih površina prema propusnim. Redukcija nepropusnih površina odnosi se na smanjenje direktne povezanosti nepropusnih površina na postojeću kanalizacijsku infrastrukturu. Potencijal redukcije nepropusnih površina računa se jednadžbom:

$$PR = \frac{A_{inf.pot}}{A_{potr.inf}} [\%] \quad (3)$$

Definiranjem potencijala redukcije nepropusnih površina PR, područje analize se klasificira u jednu od tri klase (RISA, 2014): 1. Klasa: moguća redukcija svih ili većine nepropusnih površina ($75 \% \leq PR \leq 100 \%$); 2. Klasa: moguća redukcija samo dijela nepropusnih površina ($25 \% \leq PR \leq 75 \%$); 3. Klasa: redukcija nepropusnih površina moguća u maloj mjeri ($0 \% \leq PR \leq 25 \%$).

2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Primjenom metodologije određivanja infiltracijskog potencijala PP i potencijala redukcije nepropusnih površina PR moguće je numerički iskazati potencijal područja za implementaciju najboljih praksi upravljanja. Podaci o trenutnom i budućem stanju su dobiveni iz prikupljenih podloga, projekata i terenskim istraživanjem područja. Prikupljeni podaci su analizirani korištenjem računalnog programa QGIS.

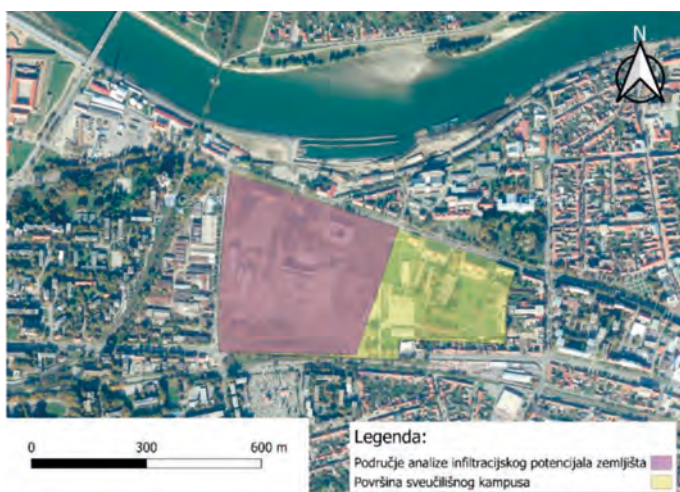
Koraci provedene analize su:

1. prikupljanje podloga,
2. određivanje propusnih i nepropusnih površina za buduće i sadašnje stanje,
3. određivanje površina ograničenja i definiranje potencijalno dostupnih propusnih površina,
4. određivanje potrebne površine infiltracije,
5. određivanje potencijalno dostupnih infiltracijskih površina na temelju hidroloških ograničenja,
6. određivanje infiltracijskog potencijala područja PP i potencijala redukcije PR,
7. određivanje odvojivih površina i prijedlog lokacije i tipa najboljih praksi upravljanja.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Područje istraživanja i podloge

Područje istraživanja (Slika 1) je prostor kampusa Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Područje kampusa se nalazi u blizini rijeke Drave južno od područja Kliničkog bolničkog centra Osijek, u gradskoj četvrti Donji grad. Područje kampusa obuhvaća površinu 0,26 km². Ovim radom je obuhvaćen uži dio, u kojem se nalaze prostori studentskog doma Fakulteta agrobiotehničkih znanosti, Građevinskog i arhitektonskog fakulteta, Odjela za kemiju, Odjela za biologiju, prostori i zgrade Umjetničke akademije Osijek, te prometnice i zelene površine. Područje analize ukupne je površine 0,166 km².

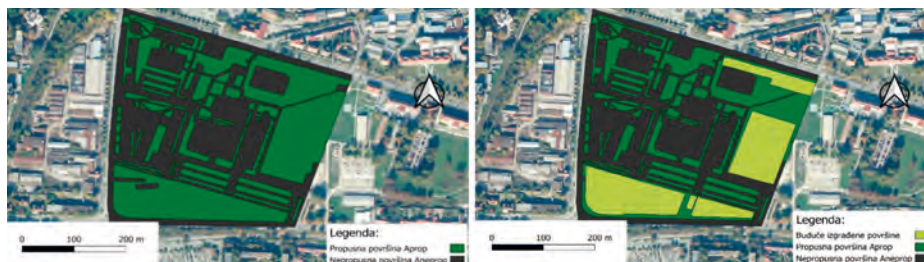


Slika 1. Grafički prikaz područja analize (QGIS)

Kao podloga za analizu infiltracijskog potencijala je korišten digitalni ortofoto 2019/20 - WMS INSPIRE. Kao podloga za izradu mape korištenja i namjene površina zajedno s postojećim zgradama korišten je grafički dio urbanističkog plana uređenja prostora Sveučilišta J.J. Strossmayera u Osijeku - Donji grad, od kojih su iskorišteni kartografski prikazi *Korištenje i namjena površina i Prometna, ulična i komunalna infrastrukturna mreža - promet*. Za analizu razine podzemne vode na području sveučilišnog kampusa su korišteni podaci prethodno izrađenih geotehničkih elaborata.

3.2. Izrada mapa propusnih i nepropusnih površina za buduće i sadašnje stanje

Analiza je provedena unošenjem prikupljenih podloga u računalni program QGIS kako bi se izradila mapa propusnih i nepropusnih površina za buduće i sadašnje stanje. Mape su izrađene definiranjem shape datoteka u QGIS-u. Na Slici 2a je prikazano trenutno stanje propusnih i nepropusnih površina, a na Slici 2b buduće stanje izgrađenosti. U Tablici 1 su prikazane vrijednosti propusnih i nepropusnih površina za sadašnje i buduće stanje. Iz dobivenih vrijednosti površina može se zaključiti da će u budućnosti doći do povećanja nepropusnih površina za 40 %.



Slika 2. a) Trenutno i b) Buduće stanje propusnih i nepropusnih površina

Tablica 1. Propusne i nepropusne površine sadašnjeg i budućeg stanja

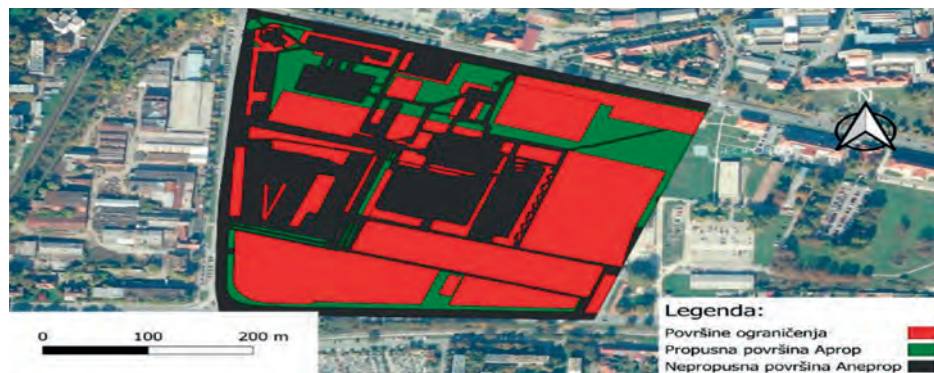
Površina [m ²]	Sadašnje stanje	Buduće stanje
Ukupna	166.664	
Propusna	84.455	50.764
Nepropusna	82.209	115.900

3.3. Određivanje površina ograničenja infiltracije

Površine ograničenja se definiraju na temelju različitih kriterija kao što su: prirodni (hidrogeološki faktori, nagib terena), struktura urbanog naselja (namjena zemljišta, položaj građevinskih objekata), pravni (imovinsko pravni odnosi i slično).

Za izradu mape površine ograničenja (Slika 4) korišteni su kriteriji planirane izgradnje, udaljenosti od temelja obližnjih građevina (pretpostavljena udaljenost od minimalno 6 m između građevina i infiltracijskih objekata) i kriterij maksimalnog nagiba za izvođenje

najboljih praksi upravljanja. Usvojen je maksimalan dozvoljeni nagib od 5 % kako ne bi došlo do erozijskog djelovanja (Malus, 2006).



Slika 4. Mapa s ucrtanim zonama ograničenja

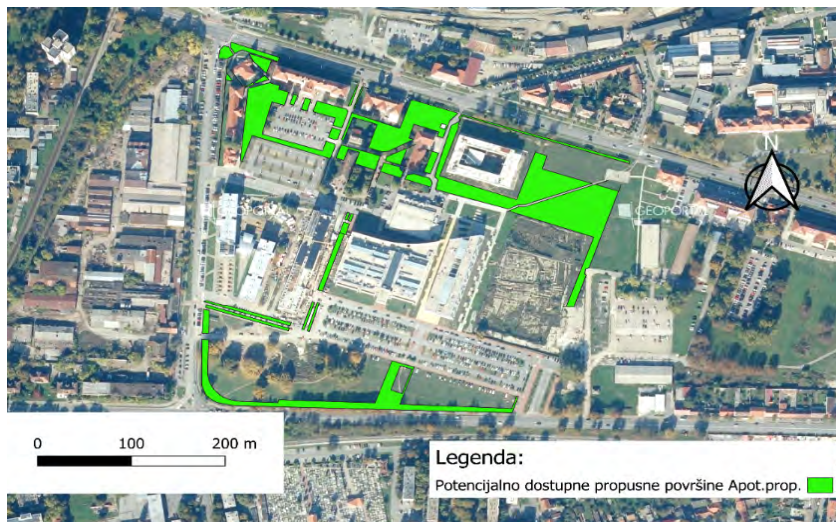
Preklapanjem slojeva propusnih i nepropusnih površina s površinama ograničenja dobiveno je da se trenutno 61 850 m² zelene propusne površine nalazi u prostoru ograničenja. Na 86 % propusne površine trenutnog stanja se ne mogu implementirati najbolje prakse upravljanja.

3.4. Određivanje potencijalno dostupnih površina infiltracije $A_{inf.pot}$

Potencijalno dostupne površine infiltracije $A_{inf.pot}$ određuju se na temelju potencijalno dostupnih propusnih površina $A_{pot.prop}$ i hidrogeoloških ograničenja. Potencijalno dostupne propusne površine $A_{pot.prop}$ predstavljaju razliku propusnih površina i površina ograničenja. Potencijalno dostupne površine $A_{pot.prop}$ su identične za trenutno i buduće stanje s obzirom na definirana ograničenja iz poglavlja 3.3. Vrijednost $A_{pot.prop}$ je definirana prema (1) te je grafički prikazana na Slici 5.

$$A_{pot.prop} = 84\,455 - 61\,850 = 22\,605 \text{ m}^2$$

Hidrološka ograničenja na području istraživanja su iskazana u obliku minimalno potrebne udaljenosti razine podzemne vode od površinskog sloja terena i karakteristika tla s obzirom na mogućnost infiltracije. Za istraživanje u ovom radu su korišteni podaci s istražnih bušotina. Na dubinama do 5 m se nalazi glinovito - prašnasta mješavina, anorganska glina s prekomjerno praha i tragovima pijeska. Ovo tlo se ne može smatrati prikladnim za infiltriranje veće količine oborina pa će za učinkovitiju primjenu infiltracijskih objekata biti potrebna izmjena tla, odnosno korištenje tla boljih infiltracijskih karakteristika. Na analiziranom području nema ograničenja zbog visoke razine podzemne vode. U svim točkama na kojima je izvedeno bušenje, razine podzemne vode su na većim dubinama od jednog metra. Prema tome, dostupne površine za infiltraciju istovjetne su potencijalno dostupnim površinama, $A_{inf.pot} = A_{pot.prop}$.



Slika 5. Potencijalno dostupne propusne površine

3.5. Određivanje potrebne površine infiltracije $A_{potr.inf}$

Za definiranje infiltracijskog potencijala područja i potencijala redukcije nepropusnih površina potrebno je odrediti vrijednost potrebne površine infiltracije. U ovom radu potrebna površina infiltracije $A_{potr.inf}$ se zadaje u odnosu na vrijednost nepropusne površine. Njezina vrijednost je aproksimativna te je usvojena kao 15 % od ukupne nepropusne površine (RISA 2014).

$$A_{potr.inf} = A_{neprop} \cdot 15\% \quad (4)$$

Potrebna površina infiltracije za trenutno stanje iznosi:

$$A_{potr.inf} = 82\,209 \cdot 15\% = 12\,331\,m^2$$

Potrebna površina infiltracije za buduće stanje iznosi:

$$A_{potr.inf} = 115\,900 \cdot 15\% = 17\,385\,m^2$$

3.6. Određivanje potencijala područja i potencijala redukcije

Analizom izrađenih mapa i dobivenih površina opisanih u prethodnim poglavljima moguće je izraziti infiltracijski potencijal područja i potencijal redukcije nepropusnih površina trenutnog i budućeg stanja.

Infiltracijski potencijal za trenutno stanje je dobiven prema (2):

$$PP = \frac{A_{prop.pot}}{A_{potr.inf}} = \frac{22\,605\,m^2}{12\,331\,m^2} = 1,83 = 183\%$$

Potencijal redukcije nepropusnih površina za trenutno stanje je dobiven prema (3):

$$PR = \frac{A_{inf.pot}}{A_{potr.inf}} = \frac{22\,605\,m^2}{12\,331\,m^2} = 1,83 = 183\%$$

Kao što je ranije rečeno, s obzirom da na području istraživanja nema hidroloških ograničenja za umanjene potencijalno dostupnih površina, vrijednosti infiltracijskog potencijala područja i potencijala redukcije nepropusnih površina su jednaki. Infiltracijski potencijal i potencijal redukcije područja iznose više od 100 %, što znači da je sliv pogodan za implementaciju najboljih upravljačkih praksi.

Infiltracijski potencijal za buduće stanje:

$$PP = \frac{22\,605\,m^2}{17\,385\,m^2} = 1,30 = 130\%$$

Potencijal redukcije nepropusnih površina za buduće stanje:

$$PR = \frac{22\,605}{17\,385} = 1,30 = 130\%$$

Potencijali područja i za buduće stanje iznose više od 100 %, što znači da i za planiranu izgradnju na području postoji dovoljan prostor za odvajanje nepropusnih površina i redukciju direktnog otjecanja oborinskih voda u kanalizacijski sustav.

3.7. Određivanje odvojivih površina, prijedlog lokacije i vrste najboljih praksi upravljanja

Na Slici 6 prikazani su prijedlozi lokacije i vrste najboljih praksi upravljanja. Predložene prakse su kišni vrtovi i bioretencije kao primjeri infiltracijskih objekata te vegetacijski jarci. Također, na Slici 6 su označene i površine koje bi se zbog svoj položaja na slivu mogle odvojiti od postojećeg sustava odvodnje i usmjeriti prema predviđenim praksama upravljanja.



Slika 6. Odvojive površine i lokacije najboljih praksi upravljanja

ZAKLJUČAK

Provedenom analizom infiltracijskog potencijala i potencijala redukcije nepropusnih površina na području sveučilišnog kampusa zaključeno je da postoji dovoljno površina za implementaciju najboljih praksi upravljanja oborinskim vodama. Područje analize je klasificirano kao područje s visokim potencijalom redukcije nepropusnih površina. Usmjeravanjem toka oborinske vode prema propusnim površinama i lokacijama najboljih praksi upravljanja moguće je smanjiti volumen i vršno otjecanje sa sliva. Predložena je implementacija praksi kao što su vegetacijski jarci, bioretencije i kišni vrtovi. Provedena analiza korisna je za potrebe urbanističkog planiranja i upravljanja oborinskim vodama. Idući korak u analizi je kvantificiranje učinka najboljih praksi upravljanja na smanjenje volumena i vrha otjecanja.

LITERATURA

- [1] LID (Low-Impact Development) Hydrologic Analysis (1999): *Department of Environmental Resources Prince George's County*.
- [2] Malus, D. (2006): *Odvodnja vanjskih prometnica zaštita okoliša od negativnog djelovanja*, Zagreb.
- [3] RISA (2014): *Handlungsziel lokaler naturnaher Wasserhaushalt: Flächenpotentialkarte (FPK), Abkopplungspotenzialkarte (APK), Wasserhaushaltsbilanzierung (WPK), Analyse von Wasserhaushaltsbilanz (WHB)*, Potential Zuständen; Pilotgebiet, 'Schleemer Bach'.
- [4] Sudar, T., Pavlović, D., Ranđelović, A. i Prodanović, D. (2022): *Metodologija za redukciju urbanih nepropusnih površina analizom infiltracionog potencijala zemljišta*, *Vodoprivreda*, Vol. 54, No.319-320, p. 199-212.
- [5] Urban Drainage and Flood Control District (UDFCD) (2016): *Urban Stormwater Design Drainage Manuals, Vol. 1-2*, Denver, Colorado, p 386.
- [6] Wong, T.H.F. (2001): *A changing paradigm in Australian urban stormwater management*. Proceedings of the 2nd South Pacific Stormwater Conference, 27 - 29th June 201, Auckland, New Zeland.

AUTORI

doc. dr. sc. Željko Šreng, mag. ing. aedif. ^a
prof. dr. sc. Marija Šperac, mag. ing. aedif. ^a
izv. prof. dr. sc. Tamara Brleković, mag. ing. aedif. ^a
doc. dr. sc. Ivana Sušanjanj Čule, mag. ing. aedif. ^b
Marta Šćuka, mag. ing. aedif. ^a

^a Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Vladimira Preloga 3, Osijek, 31000, Hrvatska, zstreng@gfos.hr

^b Građevinski fakultet u Rijeci, Ul. Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska



R 3.10.

PRIMJENA SUVREMENIH RJEŠENJA OBORINSKE ODVODNJE NA POSTOJEĆEM MJEŠOVITOM SUSTAVU

Željko Šreng, Marija Šperac, Jadran Berbić, Marin Grubišić, Luka Šimić

SAŽETAK: U radu je prikazana primjena suvremenih rješenja zbrinjavanja oborinske vode na primjeru postojećeg sustava mješovite odvodnje na području studentskog kampusa u Osijeku. Cilj rada je integrirati najbolje prakse upravljanja oborinskim vodama sa što manjim utjecajem na postojeću infrastrukturu te tako minimizirati količinu složenih građevinskih radova. Na temelju dostupnih podloga (digitalni model terena, mapa namjene zemljišta, kanalizacijska infrastruktura) napravljen je numerički model otjecanja oborinske vode s analiziranog područja za trenutno stanje. Metodom naizmjeničnih blokova konstruiran je sintetički hijetogram pale oborine trajanja 24 sata. Definirana je kritična oborina i povratni period koji će izazvati plavljenje postojećeg kanalizacijskog sustava. Nakon analize postojećeg stanja provedena je analiza 3 različite varijante rješenja: 1. kišni vrtovi, 2. kišni vrtovi i vegetacijski jarci, 3. bioretencija. U radu je prikazana učinkovitost najboljih praksi upravljanja u smanjenju volumena i vrha hidrograma otjecanja oborinske vode. Analiza je provedena u računalnom programu EPA-SWMM.

KLJUČNE RIJEČI: Zbrinjavanje oborinskih vodama, Hidrogram otjecanja, Mješoviti kanalizacijski sustav, Projektna kiša

THE APPLICATION OF MODERN STORMWATER DRAINAGE SOLUTIONS TO THE EXISTING COMBINED SEWAGE SYSTEM

ABSTRACT: The paper presents the application of modern stormwater management solution exemplified by the existing combined sewage system in the area of the student campus in Osijek. The aim of the paper is to integrate best stormwater management practices with as little impact as possible on the existing infrastructure, thus minimizing the volume of complex construction works. Based on available data (digital terrain model, land use map, sewage infrastructure), a numerical model of stormwater runoff from the analyzed area was created for the existing state. Using the alternating block method, a synthetic hyetograph for rainfall duration of 24 hours was developed. The critical rainfall volume and the return period that will cause flooding of the existing sewage system were determined. After the current state analysis, an analysis of 3 different variant solutions was performed: 1) rain gardens, 2) rain gardens and bioswales, and 3) a bioretention facility. The paper shows the effectiveness of best management practices in reducing the volume

and the peak of the runoff hydrograph. The analysis was performed in the EPA Storm Water Management Model (EPA-SWMM).

KEYWORDS: Stormwater disposal, Runoff hydrograph, Combined sewage system, “Design storm”

1. UVOD

Kako bi se smanjio utjecaj urbanizacije na hidrološku sliku područja javila se potreba za uvođenjem novih, „zelenih“, prirodni naklonjenih tehnika i metoda zbrinjavanja oborinske vode. Australški „Water Sensitive Urban Design“ (WSUD), američki „Low Impact Development“ (LID), „Sustainable Urban Drainage System“ (SUDS) porijeklom iz Ujedinjenog Kraljevstva i kineski „Sponge City“ predstavljaju alate u provođenju ciljeva urbanog gospodarenja vodama (LID, 1999, UDFCD, 2006). U Republici Hrvatskoj se takav način gospodarenja oborinskim vodama naziva integralno upravljanje oborinskim vodama. Cilj integralnog upravljanja oborinskim vodama je smanjiti otjecanje s nepropusnih površina sliva prema kanalizacijskoj infrastrukturi te se tako približiti pred-razvojnim hidrološkim uvjetima sliva. Tijekom godina u svijetu i Republici Hrvatskoj provedeno je mnogo analiza i uspješnih primjena najboljih praksi upravljanja (Autixier i ostali, 2014, Krvavica i ostali, 2018, Li, 2021, Yuan i ostali, 2019, Wei i ostali, 2011). Najbolje prakse upravljanja zajednički je naziv za mjere i objekte koji se koriste u svrhu integralnog upravljanja oborinama (Malus, 2006). U radu je prikazana primjena integralnog upravljanja oborinskim vodama na primjeru postojećeg sustava mješovite odvodnje na području studentskog kampusa u Osijeku. Cilj rada je integrirati najbolje prakse upravljanja oborinskim vodama sa što manjim utjecajem na postojeću infrastrukturu te tako minimizirati količinu složenih građevinskih radova. Analizirane su 3 različite varijante rješenja: 1. kišni vrtovi, 2. kišni vrtovi i vegetacijski jarci, 3. bioretencija. Prikazana je učinkovitost analiziranih varijanti u smanjenju volumena i vrha hidrograma otjecanja oborinske vode. Analiza je provedena u računalnom programu EPA-SWMM.

2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

U nastavku je prikazana provedena metodologija primjene najboljih praksi upravljanja na urbanom slivu s postojećim mješovitim sustavom odvodnje. Metodologija se sastoji od 7 koraka:

1. Definiranje cilja implementacije najboljih praksi upravljanja oborinskim vodama

Definiranje jednog ili više ciljeva koji se žele ostvariti primjenom integralnog upravljanja oborinskim vodama, kao npr. korištenje oborinske vode, smanjenje potrošnje pitke vode, smanjenje volumena otjecanja i vršnih protoka te zaštita voda i prijemnika.

2. Analiza područja i stvarnog stanja

Ovaj korak se sastoji od prikupljanja informacija o analiziranom području: topografske, geološke i hidrološke podloge, urbanistički planovi te postojeća projektna dokumentacija.

3a. Definiranje varijanti najboljih praksi upravljanja

Definiranje najboljih praksi upravljanja koje će se uspoređivati i vrednovati. Odabir izvršiti s obzirom na prethodna 2 koraka, cilj i karakteristike područja. Obratiti posebnu pozornost na mogućnost implementacije, mogućnost izvedbe, prostorne kapacitete i imovinsko pravne odnose.

3b. Definiranje varijanti lokacije najboljih praksi upravljanja

Ovaj korak direktno je povezan s prethodnim i provodi se paralelno s njim. Potrebno je dobro poznavati visinske odnose na slivu te površinske i potpovršinske karakteristike sliva sa ciljem:

- definiranja najniže točke na slivu i provjere mogućnosti gravitacijskog dotoka prema predviđenoj praksi,
- određivanja pokrova zemljišta i njegovih infiltracijskih karakteristika,
- detektiranja depresijskih područja pogodnih za smještaj infiltracijskih objekata,
- određivanja mogućnosti produljenja puta tečenja, kako bi se povećalo vrijeme koncentracije i smanjio vrši dotok,
- detektiranja kritičnih površina i dijelova sliva, npr. površina koje na slivu generiraju najveće količine površinskog dotoka, površine s najvećim uzdužnim padom i slično,
- što manjeg utjecaja na postojeću infrastrukturu u smislu teških i kompleksnih građevinskih radova.

4. Konstrukcija projektne kiše

Konstruirati sintetički hijetogram nekom od metoda (npr. metoda kvartilnih krivulja, metoda naizmjeničnih blokova, metoda prosječne varijabilnosti oborinskog intenziteta) ili koristiti neki od prijašnjih pljuskova.

5. Analiza, usporedba i vrednovanje korištenih varijanti

Usporedba varijanti s obzirom na zadani cilj. Analizirati utjecaj oblika i vrste hijetograma na uvjete otjecanja na slivu i definirati kritičan pljusak za dimenzioniranje najboljih praksi upravljanja.

6. Odabir varijantnog rješenja

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1 Definiranje cilja implementacije najboljih praksi upravljanja oborinskim vodama

U ovom istraživanju cilj je smanjiti hidrauličko opterećenje na nizvodne kolektore i spriječiti plavljenje kanalizacijske infrastrukture i područja prilikom intenzivnijih kišnih epizoda.

3.2 Analiza područja i stvarnog stanja

Za izradu modela otjecanja na analiziranom slivu prikupljene su i analizirane sljedeće podloge: 1. Projekt sustava mješovite odvodnje sveučilišnog kampusa J. J. Strossmayera u Osijeku, 2. Geotehnički elaborat područja sveučilišnog kampusa J. J. Strossmayera

u Osijeku, 3. Podaci o nepropusnim i propusnim površinama te namjeni zemljišta. Na Slici 1 prikazano je analizirano područje s označenim podslivovima odakle oborinska voda gravitira prema postojećim kolektorima. Izlaz iz sliva je u čvoru O1. Modeliranjem otjecanja oborinske vode postojećeg stanja utvrđeno je da se na dionici cjevovoda od čvora Č2 do čvora Č1 (Slika 1) javlja tlačno strujanje već pri projektnoj kiši povratnog perioda PP 2 godine. Za povratne period PP 50 i 100 godina na toj dionici dolazi do plavljenja. Prema tome, u narednim koracima predložene su mjere s ciljem smanjenja vrha i volumena otjecanja oborinske vode.

3.3 Definiranje varijanti najboljih praksi upravljanja

3.3.1. Varijanta 1 - Kišni vrtovi

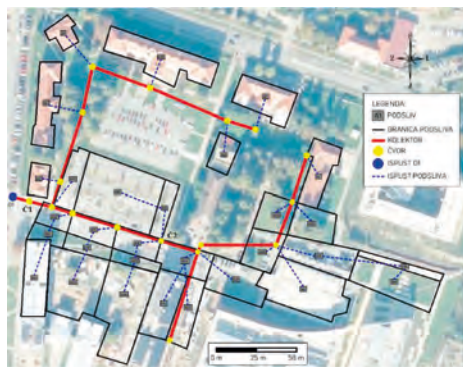
Predviđena su dva kišna vrta čije su lokacije na postojećim zelenim, odnosno propusnim površinama (Slika 2). Uvidom u geotehnički elaborat odlučeno je da za provedbu navedene varijante neće biti potrebna intervencija u vidu izmjene tla. Potreban je minimalni građevinski zahvat u vidu plitkog površinskog iskopa radi niveliranja terena i stvaranja berme. Oba kišna vrta imaju površinu od 300 m² (širina 15 metara, dužina 20 metara). Predviđeno je da se na kišne vrtove spoji oborinska voda s krovova obližnjih zgrada.

3.3.2. Varijanta 2 - Kišni vrtovi + vegetacijski jarci

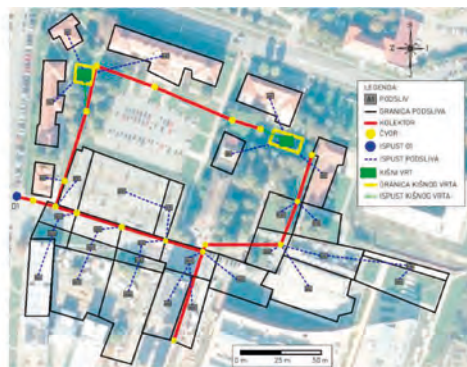
Predviđaju se kišni vrtovi na dvije lokacije (kao u Varijanti 1) te vegetacijski jarci na tri lokacije (Slika 3). Na kraju svakog vegetacijskog jarka je predviđena prigušnica koja povezuje vegetacijski jarak sa sustavom mješovite odvodnje. Vegetacijski jarci dimenzionirani su na kišu povratnog perioda (PP) od 20 godina. Vegetacijski jarci su pravokutnog poprečnog presjeka, dimenzija $b \times h$: V1 - 3 m x 0,7 m; V2 - 2 m x 0,3 m; V3 - 2 m x 0,3 m.

3.3.3. Varijanta 3 - Bioretencija

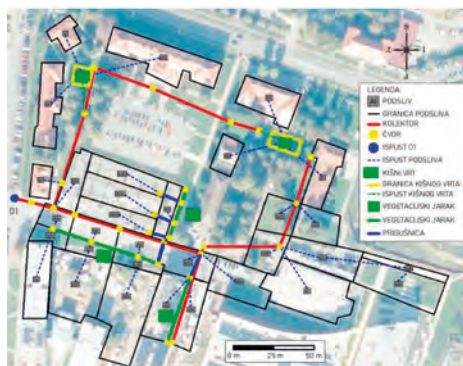
U ovoj varijanti predviđena je bioretencija. Predviđena lokacija (Slika 4) je pogodna za smještaj bioretencije jer se na tome dijelu terena nalazi prirodna depresija te je moguće vodu s nepropusnih površina gravitacijski usmjeriti prema istoj. Bioretencija prikuplja vodu s nepropusnih površina u ovom slučaju krova, parkinga, ceste i pločnika s obližnjih podslivova. Njena funkcija je zadržavati prikupljenu vodu, dio infiltrirati, a ostatak ispustiti u obližnje okno. Za razliku od Varijante 1 s kišnim vrtovima gdje je predviđeno prirodno tlo, u ovoj varijanti se pretpostavlja izmjena tla i korištenje tla koje je pogodnije za infiltraciju oborinske vode. Odabrana je pjeskovita ilovača koja svojim karakteristikama zadovoljava zahtjeve hidrauličkih karakteristika za prihvat i infiltraciju oborinske vode (Li i ostali, 2021, Nazarpour i ostali, 2013). Bioretencija je dimenzionirana na način da zadržavanje vode iznad sloja tla ne bude duže od 24 sata. Za dimenzioniranje bioretencije korištena je kiša PP 20 godina. Bioretencija ima površinu od 500 m². Širina joj je 25 metara, a duljina 20 metara. Debljina infiltracijskog sloja (pjeskovite ilovače) iznosi 50 cm.



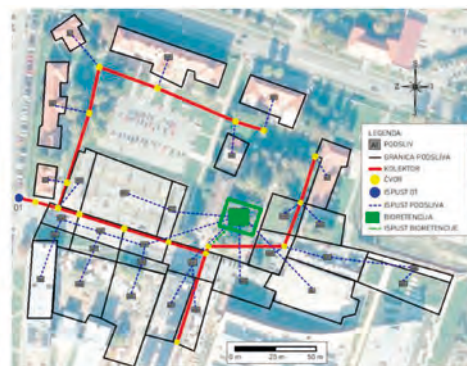
Slika 1. Analizirano područje s postojećom kanalizacijskom infrastrukturom



Slika 2. Varijanta 1 - Kišni vrtovi



Slika 3. Varijanta 2 - Kišni vrtovi + vegetacijski jarci



Slika 4. Varijanta 3 - Bioretencija

3.4 Konstrukcija projektne kiše

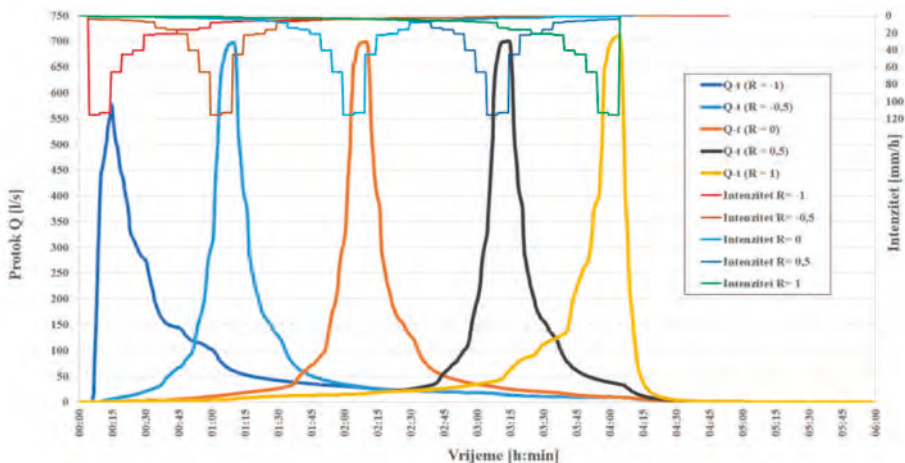
Konstrukcija projektne kiše izvršena je Metodom naizmjeničnih blokova (usvojen vremenski korak $\Delta t = 10$ min). Projektna kiša definirana je iz ITP krivulje za grad Osijek (10 minutni podatci za razdoblje od 1959. do 1991. godine). Konstruirani su hijetogrami s faktorom pojave najvećeg intenziteta $R = 1$ za povratne periode (PP) od 1, 2, 5, 10, 20, 50 i 100 godina. Za PP 20 godina konstruirani su hijetogrami s faktorom pojave najvećeg intenziteta kiše $R = -1, R = -0,5, R = 0, R = 0,5$ i $R = 1$.

3.5 Analiza, usporedba i vrednovanje korištenih varijanti

Na Slici 5 su prikazani hidrogrami otjecanja na čvoru O1 za PP 20 godina. Iz rezultata je vidljivo da se najveće otjecanje javlja za slučaj projektne kiše $R = 1$ ($Q_{\max} = 712$ l/s). Iz tog je razloga dimenzioniranje i vrednovanje varijanti vršeno korištenjem kiše s faktorom $R = 1$.

U Tablici 1 prikazani su rezultati analize stvarnog stanja i definiranih varijantnih rješenja. Vidljivo je da je učinkovitost smanjenja vršnog protoka najizraženija za Varijantu 2 za većinu povratnih perioda. Vegetacijski jarci i kišni vrtovi svojim položajem i strukturnim karakteristikama povećavaju vrijeme koncentracije sliva i tako znatno smanjuju vrijednost vršnog dotoka. Učinkovitost je posebna izražena za povratne periode od 2 do 20 godina. Nakon toga, za povratne periode od 50 i 100 godina, učinkovitost se smanjuje. Razlog su veći intenziteti oborine (u odnosu na manje povratne periode) koje rezultiraju većim protocima i brzinama protjecanja. Za veće povratne periode (50 i 100 godina) učinkovitost bioretencije (Varijanta 3) u smanjenju vršnog protoka se povećava i ta se varijanta za PP 100 godina pokazala kao najbolja. Infiltracijska svojstva bioretencije dolaze do izražaja u slučaju većih količina kiše jer je tada stupac vode iznad tla veći, odnosno veći je hidraulički gradijent unutar infiltracijskog sloja. Zanimljivo, Varijanta 3 najbolje rezultate pokazuje i za najmanji povratni period PP 1 godina. Razlog tomu su uzvodniji položaj bioretencije u prostoru (dobar dio slivnog područja spojen je na objekt, Slika 4) i retencijski kapacitet, odnosno prostor iznad berme, koji zadržava značajnu količinu vode. Smanjenje vrha otjecanja za PP 1 godina iznosi 57,59 %. Učinkovitost bioretencije (Varijanta 3) za ostale povratne periode, PP 2, 5, 10 i 20 godina je značajno manja. To je posljedica smještaja bioretencija na slivu i korištenog oblika hijetograma projektne kiše. Također, vidljivo je da se vršni protok za navedene povratne periode za Varijantu 2 javlja kasnije u odnosu na Varijantu 3, što znači da su vegetacijski jarci učinkovitiji u usporenu toka te produžuju vrijeme koncentracije sliva (vrijeme pojave vršnog protoka prikazano je u zagradi u Tablici 1). Smještajem bioretencije uzvodnije do mjesta ispusta O1 vjerojatno bi se dobila veća učinkovitost, ali s obzirom na topografska i strukturna ograničenja (postojeći objekti) to nije bilo moguće. Također, značajnu ulogu na učinkovitost ove varijante ima i oblik hijetograma projektne kiše. Za projektnu kišu s faktorom $R = 1$, maksimalni se intenzitet oborina javlja na kraju kišne epizode, što znači da se bioretencija postepeno punila i imala ograničen prostor za prihvat oborine generirane kišama jačih intenziteta. Varijanta s kišnim vrtovima (Varijanta 1) pokazala se kao najmanje učinkovita u smanjenju vršnog protoka za sve povratne periode, osim za PP 1 godina.

Iz rezultata u Tablici 2 vidljivo je da je učinkovitost u smanjenju volumena otjecanja najizraženija za Varijantu 3. S obzirom na infiltracijski potencijal bioretencije, to je bilo i za očekivati. Za razliku od vršnog protoka, učinkovitost smanjenja volumena se porastom povratnog perioda smanjuje. Također, porastom povratnog perioda smanjuje se i razlika učinkovitosti između Varijanata 2 i 3.



Slika 5. Hidrogram otjecanja na ispustu O1 za povratni period od 20 godina (stvarno stanje)

Tablica 1. Učinkovitost varijanti u smanjenju vršnog protoka

VARIJANTA	PP1		PP2		PP5		PP10	
	Q _{max} [l/s]	SMANJENJE [%]	Q _{max} [l/s]	SMANJENJE [%]	Q _{max} [l/s]	SMANJENJE [%]	Q _{max} [l/s]	SMANJENJE [%]
Stvarno stanje	170 (4:05:30)	-	395 (4:05:30)	-	531 (4:05:00)	-	660 (4:05:00)	-
1	113 (4:06:00)	33	290 (4:05:30)	27	401 (4:05:00)	25	522 (4:05:00)	21
2	106 (4:06:30)	38	191 (4:05:30)	52	266 (4:05:30)	50	306 (4:05:30)	5
3	69 (4:06:30)	59	344 (4:06:00)	13	525 (4:05:00)	1	576 (4:05:00)	13
VARIJANTA	PP20		PP50		PP100			
	Q _{max} [l/s]	SMANJENJE [%]	Q _{max} [l/s]	SMANJENJE [%]	Q _{max} [l/s]	SMANJENJE [%]		
Stvarno stanje	712 (4:04:30)	-	868 (4:05:00)	-	926 (4:05:00)	-		
1	572 (4:05:30)	20	766 (4:05:00)	12	833 (4:05:00)	10		
2	419 (4:06:00)	41	645 (4:05:00)	26	752 (4:05:00)	19		
3	603 (4:05:00)	15	651 (4:05:00)	25	681 (4:05:00)	26		

Tablica 2. Učinkovitost varijanti u smanjenju volumena otjecanja

VARIJANTA	PP1		PP2		PP5		PP10	
	VOLUMEN [m ³]	SMANJENJE [%]	VOLUMEN [m ³]	SMANJENJE [%]	VOLUMEN [m ³]	SMANJENJE [%]	VOLUMEN [m ³]	SMANJENJE [%]
Stvarno stanje	175	-	450	-	689	-	889	-
1	124	29	342	24	536	22	697	22
2	125	28	338	25	527	24	682	23
3	74	58	265	41	493	28	675	24
VARIJANTA	PP20		PP50		PP100			
	VOLUMEN [m ³]	SMANJENJE [%]	VOLUMEN [m ³]	SMANJENJE [%]	VOLUMEN [m ³]	SMANJENJE [%]		
Stvarno stanje	1093	-	1392	-	1702	-		
1	866	21	1124	19	1420	17		
2	853	22	1081	22	1350	21		
3	845	23	1075	23	1311	23		

3.6 Odabir varijantnog rješenja

Analizom i usporedbom rezultata zaključeno je da najbolje rezultate daje varijantno rješenje s kišnim vrtovima i vegetacijskim jarcima (Varijanta 2). Kriteriji koji su korišteni za odabir varijantnog rješenja su vrijednosti vršnog protoka na ispusnom čvoru O1 u odnosu na stvarno stanje, smanjenje volumena otjecanja slivnog područja te složenost izvedbe i utjecaj na postojeću infrastrukturu. Promatrajući hidrogram po različitim povratnim periodima Varijanta 2 daje u pravilu najveću i najkonzistentniju učinkovitost. Za kišu 20 godišnjeg povratnog perioda na koji su navedeni objekti dimenzionirani, smanjenje vršnog protoka na izlaznom čvoru O1 iznosi 292 l/s, odnosno 41 % u odnosu na stvarno stanje. Smanjenje volumena otjecanja slivnog područja za Varijantu 2 i povratni period od 20 godina iznosi 240 m³ odnosno 22 %. Učinkovitost smanjenja volumena otjecanja za Varijantu 2 je za sve povratne periode podjednaka te je ta varijanta s aspekta hidrauličke najpouzdanija. Varijanta 3 dosta varira po povratnim periodima, a za tu je varijantu i hidraulički proračun najsloženiji. U pogledu smanjenja vršnog protoka na ispusnom čvoru O1 za povratne periode do 20 godina najučinkovitija je Varijanta 2. Za veće povratne periode (10, 20, 50 i 100 godina) učinkovitost u smanjenju volumena otjecanja je gotovo identična za Varijante 2 i 3. Primjenom Varijante 2 tlačno strujanje na kritičnoj dionici (od čvora Č2 do čvora Č1) se pojavljivalo tek pri projektnoj kiši povratnog perioda PP 20 godina, a do plavljenja kanalizacije nije došlo ni pri povratnom periodu PP 100 godina. Prakse u Varijanti 2 predstavljaju prvenstveno retencijske objekte, a ne infiltracijske, pa je i pri manjim povratnim periodima PP 1 i 2 godine u kanalizaciji došlo do otjecanja oborinske vode. To je važno s aspekta ispiranja taloga koji nastaje sporim otjecanjem sanitarno - fekalne otpadne vode.

ZAKLJUČAK

U radu je prikazana primjena metodologije analize i proračuna objekata integralnog upravljanja oborinskim vodama na slivu s postojećim mješovitim sustavom kanalizacije. U računalnom programu SWMM izvršena je simulacija otjecanja na analiziranom području te su dobiveni hidrogrami za stvarno stanje. Potom su dane tri varijante rješenja sa ciljem vrednovanja učinkovitosti smanjenja volumena i vršnog otjecanja. Varijanta 1 odnosila se na primjenu kišnih vrtova koji prikupljaju vodu s krovnih ploha. Varijanta 2 predstavlja kombinaciju kišnih vrtova iz Varijante 1 i vegetacijskih jaraka postavljenih unutar slivnog područja. Treće rješenje odnosilo se na primjenu bioretencije koja prikuplja vodu s nepropusnih površina. Analizom i usporedbom varijantnih rješenja i stvarnog stanja zaključeno je da najbolje rezultate daje Varijanta 2. Treba napomenuti da su svi objekti dimenzionirani na povratni period od 20 godina s faktorom kiše $R = 1$. U pogledu vršnog protoka za PP 20 godina, ostvareno je smanjenje od 292 l/s, odnosno 41 %, dok je u pogledu volumena otjecanja ostvareno smanjenje od 40 m³, odnosno 22 %. U radu je ukazano na potencijalnu učinkovitost izgradnje jednostavnih objekata prema najboljim praksama u upravljanju oborinskim vodama. Rad može poslužiti kao osnova za daljnje istraživanje, analizu i proračun drugih vrsta objekata najboljih praksi upravljanja oborinskim vodama na ovom slivnom području, ali i drugim slivnim područjima s postojećim sustavom mješovite kanalizacije.

LITERATURA

- [1] Autixier, L., Mailhot, A., Bolduc, S., Madoux-Humery, A.S., Galarneau, M., Prevost, M., Dorner, S. (2014): *Evaluating Rain Gardens as a Method to Reduce the Impact of Sewer Overflows in Sources of Drinking Water, Science of the Total Environment* 499: 238–47.
- [2] Krvavica, N., Jaredić, K., Rubinić, J. (2018): *Metodologija definiranja mjerodavne oborine za dimenzioniranje infiltracijskih sustava, Građevinar* 70(2018) 8, 657–669.
- [3] Li, G., Xiong, J., Zhu, J., Liu, Y., Dzakpasu, M. (2021): *Design Influence and Evaluation Model of Bioretention in Rainwater Treatment: A Review, Science of the Total Environment* 787.
- [4] LID (Low-Impact Development) Hydrologic Analysis (1999): *Department of Environmental Resources Prince George's County*.
- [5] Malus, D. (2006): *Odvodnja vanjskih prometnica zaštita okoliša od negativnog djelovanja, Zagreb*.
- [6] Nazarpour, S., Gnecco, I., Palla, A. (2023): *Evaluating the Effectiveness of Bio-retention Cells for Urban Stormwater Management: A Systematic Review, Water (Switzerland)* 15(5).
- [7] Urban Drainage and Flood Control District (UDFCD) (2016): *Urban Stormwater Design Drainage Manuals, Vol. 1-2, Denver, Colorado*, p 386.
- [8] Yuan, L. C., You, G. J., Lee, H. Y. (2019): *Investigating the Effectiveness and Optimal Spatial Arrangement of Low-Impact Development Facilities, Journal of Hydrology* 577.

- [9] Wei, S.Y., Wei, X. M., Pomeroy, C. A. (2011): *Global Analysis of Sensitivity of Bioretention Cell Design Elements to Hydrologic Performance*, Water Science and Engineering 4(3): 246–57.

AUTORI

doc. dr. sc. Željko Šreng, mag. ing. aedif. ^a

prof. dr. sc. Marija Šperac, mag. ing. aedif. ^a

dr. sc. Jadran Berbić, mag. ing. aedif. ^b

doc. dr. sc. Marin Grubišić, mag. ing. aedif. ^a

Luka Šimić, mag. ing. aedif. ^a

^a Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Vladimira Preloga 3, Osijek, 31000, Hrvatska zsreng@gfos.hr

^b Tehnička škola Šibenik, Ul. Ante Šupuka 31, Šibenik, 22000, Hrvatska



R 3.11.

PRIMJENA AHP METODE NA ODABIR UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

Marija Šperac, Barbara Karleuša, Marta Marija Bilić

SAŽETAK: Posljedica porasta broja stanovnika, povećanje gustoće stanovništva u urbanim sredinama, gospodarskog razvoja i urbanizacije je povećanje količina otpadnih voda koje treba zbrinjavati na adekvatan način. Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda dizajnirani su tako da koriste različite procese i različite razine pročišćavanja otpadnih voda, ovisno o kakvoći otpadne vode koja dotječe na uređaj te standardima ispuštene vode i standardima prijemnika u koje se te vode upuštaju. Istjecanje iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda uzrokuje onečišćenje okoliša stoga se izbor lokacije uređaja za pročišćavanje i samog ispusta može smatrati jednim od najvažnijih elemenata koji utječu na okolnu kakvoću vode i vodene organizme. Izazov u gospodarenju otpadnim vodama predstavlja i izbor najbolje dostupne tehnologije za određeni cilj pročišćavanja otpadnih voda na određenoj lokaciji. Metoda procesa analitičke hijerarhije (AHP - *Analytic Hierarchy Process*) koristan je alat za rukovanje ciljevima, višestrukim i različito - dimenzionalnim kriterijima i mjerama u procesu donošenja odluka. Primjena AHP-a omogućuje razmatranje varijanti temeljem socioloških i okolišnih kriterija za koje se danas smatra da su od iste važnosti kao i ekonomski u odabiru optimalne varijante rješenja za pročišćavanje otpadnih voda. U ovom radu će se analizirati primjena AHP metode na odabir lokacije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i na odabir tehnologije za pročišćavanje otpadnih voda.

KLJUČNE RIJEČI: Pročišćavanje otpadnih voda, Višekriterijska analiza, AHP, Lokacija, Tehnologija

APPLICATION OF THE AHP METHOD FOR SELECTION OF WWTP

ABSTRACT: The consequence of population growth, increase in population density in urban areas, economic development and urbanization is an increase in the amount of wastewater that needs to be treated in an adequate manner. Wastewater treatment plants are designed to use different processes and different levels of wastewater treatment depending on the quality of wastewater that flows into the plant, the standards for discharged water, and the standards for the receiving bodies into which this water is discharged. Effluent from wastewater treatment plants causes environmental pollution, therefore the selection of the location of a treatment plant and its outlet can be considered one of the most impor-

tant elements, since they affect the water quality and aquatic organisms in their vicinity. A challenge in wastewater management is also the selection of the best available technology for the specific goal of wastewater treatment at a specific location. The Analytic Hierarchy Process (AHP) method is a useful tool for managing objectives, multiple and different dimensional criteria and measures in the decision - making process. The AHP application enables a consideration of alternatives based on social and environmental criteria, which are nowadays regarded as having the same importance as economic criteria in the selection of the optimal variant solution for wastewater treatment. This paper will analyse the application of the AHP method to the selection of the location of a wastewater treatment plant and the technology of wastewater treatment.

KEY WORDS: Wastewater treatment, Multi - criteria analysis, AHP, Location, Technology

1. UVOD

Gospodarski razvoj i porast stanovništva prati s jedne strane povećanje potreba za vodom, a s druge povećanje onečišćenja vodnih resursa. Kakvoća vodnih resursa je pod stalnim utjecajem različitih dinamičkih i stohastičkih parametara te ju je potrebno stalno kontrolirati i održavati (Šperac i Obradović, 2019) te u nekim slučajevima i poboljšati. Otpadne vode sustava javne odvodnje ili komunalne otpadne vode su sanitarne otpadne vode ili su mješavina sanitarnih otpadnih voda s tehnološkim otpadnim vodama i/ili oborinskim vodama određene aglomeracije (Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (Narodne novine, broj 26/20)). Uz količine otpadnih voda značajna je i njihova kakvoća. Nakon upotrebe, komunalne vode sadržavaju mješavinu raznih vodom nošenih onečišćenja, a svojstva im se razlikuju prema mjestu odakle potječu. Obzirom da se otpadne vode u konačnici vraćaju u hidrološki ciklus - okoliš, potrebno ih je prije ispuštanja pročititi do određene razine. Pročišćavanje otpadnih voda proces je smanjivanja onečišćenja do onih količina ili koncentracija s kojima pročišćene otpadne vode ispuštene u prijemnike postaju neopasne za život i ljudsko zdravlje i ne uzrokuju neželjne promjene u okolišu. Prema nekim istraživanjima, očekuje da će se svjetska populacija suočiti s problemom nedostatka vode ako potrošnja ostane na sadašnjoj razini ili se poveća. Stoga su pročišćavanje vode i njezina ponovna uporaba jedino moguće rješenje ovog problema. Odabir optimalnog rješenja za pročišćavanje otpadnih voda ključna je faza u optimizaciji procesa pročišćavanja otpadnih voda.

Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda dizajnirani su tako da koriste različite procese i različite razine pročišćavanja otpadnih voda, ovisno o kakvoći vode koja dotječe na uređaj te standardima ispuštene vode i standardima prijemnika u koje se te vode upuštaju. Mnoge zemlje i regije izdale su standarde projektiranja postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda. Konvencionalna obrada otpadnih voda urbanih sredina uključuje prethodnu obradu, primarnu obradu i sekundarnu obradu. Idealno postrojenje za pročišćavanje je ono povezano s minimalnim ispuštanjem onečišćenja u okoliš, minimalnim troškovima pročišćavanja i maksimalnim sociokulturnim dobitima. Kod odabira uređaja za pročišćavanje otpadnih voda potrebno je primijeniti integralni pristup u kojem su vodeći parametri izbor tehnologije rada uređaja i lokacija samog uređaja. Istjecanje iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda uzrokuje onečišćenje okoliša stoga se izbor lokacije

uređaja za pročišćavanje i ispusta može smatrati jednim od najvažnijih elemenata koji utječu na okolnu kakvoću vode i vodene organizme. Konvencionalni centralizirani sustav ispire patogene bakterije iz stambenog područja, koristeći velike količine vode i često kombinira kućnu otpadnu vodu s kišnicom, uzrokujući protok velikih količina patogene otpadne vode. S druge strane, decentralizirani sustavi za pročišćavanje otpadnih voda tehnički su, djelotvorni, učinkoviti i pristupačni pristup za ruralna i urbana kućanstva u zemljama s manjom koncentracijom stanovništva. Za optimalan rad UPOV-a važno je odabrati adekvatnu tehnologiju obzirom na kakvoću otpadnih voda i kakvoće recipijenta na određenom području. Odabir optimalne varijante postupka pročišćavanja otpadnih voda i lokacije obično je neizvjestan i složen proces.

Mnogi čimbenici mogu biti važni za proces donošenja odluka, uključujući kapitalna ulaganja, politiku cijena, površinu zemljišta, potrošnju energije, tehničke vještine, utjecaje na okoliš, itd. Ovi čimbenici predstavljaju kriterije temeljem kojih treba izabrati najbolje rješenje. Metoda procesa analitičke hijerarhije (AHP - Analytic Hierarchy Process) koristan je alat za rukovanje ciljevima, višestrukim i različito - dimenzionalnim kriterijima i mjerama u procesu donošenja odluka. Primjena AHP-a omogućuje razmatranje varijanti temeljem socioloških i okolišnih kriterija za koje se danas smatra da su od iste važnosti kao i ekonomski u odabiru optimalne varijante rješenja za pročišćavanje otpadnih voda.

2. VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA

Višekriterijska analiza (VKA) je model donošenja odluka koji se sastoji od: skupa rješenja (varijanti koje treba rangirati ili sortirati donosilac odluke), skupa kriterija (kvantitativnih i kvalitativnih, uz korištenje različitih mjera) i skupa vrijednosti (ocjene) svake varijante po svakom kriteriju (Hajkowicz i Collins, 2007).

Rezultat primjene VKA je rangiranje ili sortiranje varijanti u definirane grupe te bodovanje varijanti.

Metodologija primjene višekriterijske analize obuhvaća slijedeći algoritam (Hajkowicz i Collins, 2007), (Hajkowicz i Higgins, 2008):

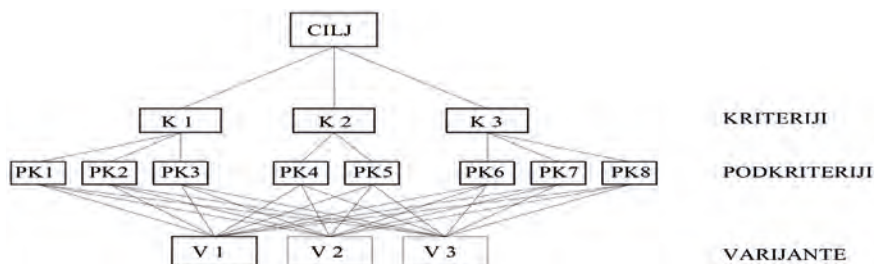
1. generirati više rješenja (varijanti),
2. definirati kriterije,
3. vrednovati rješenja po svim kriterijima (i podkriterijima),
4. odrediti težine (važnosti) kriterija (i podkriterija),
5. rangirati ili sortirati rješenja,
6. provesti analizu osjetljivosti,
7. donijeti konačnu odluku.

Postoji niz klasifikacija i vrsta metoda višekriterijske analize (Triantaphyllou, 2000), (Multiple Criteria Decision Analysis, 2005), (Karleuša, 2002), (Hajkowicz i Collins, 2007), (Hajkowicz i Higgins, 2008), od kojih će se u ovome radu analizirati primjena AHP metode.

3. AHP

AHP (Analytic Hierarchy Process) metoda je primjenjiva na problemima koji se mogu prikazati u hijerarhijskom obliku (Saaty, 1994), (Saaty, 1996). Hijerarhija na samom vrhu počinje s ciljem, zatim se na nižoj razini nalaze kriteriji te prema potrebi podkriteriji (postoji mogućnost više razina podkriterija). Najnižu hijerarhijsku razinu predstavljaju varijante (slika 1).

Većina metoda VKA je primjenjiva u slučaju kada su poznate egzaktno vrijednosti varijanti po pojedinim kriterijima, te težina svakog kriterija (podkriterija). Prednost AHP metode je što se ona može koristiti u prethodno navedenom slučaju, ali i u slučajevima kada su poznati samo međusobni odnosi varijanata („pairwise comparison“ - „usporedba parova“) po pojedinim kriterijima i/ili međusobna važnost kriterija u odnosu na cilj, te podkriterija u odnosu na kriterij više hijerarhije (Karleuša i Ožanić, 2011).



Slika 1: Hijerarhijski prikaz strukturiranja problema kod AHP metode

U slučaju primjene „usporedbe parova“ AHP metoda podrazumijeva provedbu proračuna težina, prioriteta odnosno važnosti (pod)kriterija i varijanata na način da se: formiraju matrice poredbe u kojima se definiraju preferencije dobivene poredbom parova određene razine hijerarhije u odnosu na višu razinu hijerarhije, stupci u matricama se normaliziraju i određuju se vektor težina ili prioriteta kriterija u odnosu na cilj i vektori težina ili prioriteta varijanata po svakom kriteriju. Kao rezultat potrebno je dobiti ukupnu matricu težine ili prioriteta varijanata u kojoj vektori prioriteta varijanata po pojedinom kriteriju čine stupce i koja množenjem sa vektorom prioriteta kriterija daje ukupni vektor prioriteta varijanata u odnosu na cilj iz kojeg slijedi rang-lista varijanata (Karleuša i Ožanić, 2011).

4. PRIMJENA AHP METODE NA ODABIR LOKACIJE I VRSTU UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

Analizom raspoložive literature u bazama znanstvenih radova Web of Science, Science Direct i Research Gate, izdvojeno je dvanaest radova koji se bave primjenom AHP metode u odabiru lokacije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i tehnologije pročišćavanja. Od analiziranih radova, tri rada su iz 90-ih godina prošlog stoljeća, dok je većina radova nastala u posljednjih dvanaest godina iz čega se može zaključiti da je primjena AHP metode aktualna kod odabira karakteristika uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

Od analiziranih dvanaest radova, u devet radova je AHP metoda primijenjena za rješavanje problema odabira optimalne tehnologije pročišćavanja otpadnih voda, a u preostala tri rada je primijenjena za rješavanje problema odabira najbolje lokacije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

U radovima (Ellis i Tang, 1991), (Tang i Ellis, 1994), (Tang i drugi, 1997), (Karimi i drugi, 2011), (Srdjevic i drugi, 2012), (Kalbar i drugi, 2013), (Ayediner i drugi, 2016), (Wei i drugi, 2020) i (Ćetković i drugi, 2023) je AHP metoda primijenjena za odabir tehnologije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Svi radovi se bave određivanjem karakteristika novih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, osim (Ćetković i drugi, 2023) gdje je promatran slučaj postojećeg uređaja kojeg je potrebno unaprijediti.

U radu (Ellis i Tang, 1991) autori razvijaju optimizacijski model s ukupno dvadeset tehničkih i socio - ekonomskih kriterija koje u radu (Tang i Ellis, 1994) testiraju na četiri postojeća uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u Maleziji, Hong Kongu, Tajvanu i Tajlandu. Rad (Tang i drugi, 1997) je također nastavljen na prethodno dva spomenuta rada te u njemu autori primjenom AHP metode odabiru optimalnu tehnologiju za pročišćavanje otpadnih voda.

U radovima (Karimi i drugi, 2011), (Ayediner i drugi, 2016) i (Wei i drugi, 2020) autori formiraju hijerarhijsku strukturu u dvije razine, s kriterijima i podkriterijima. U radu (Karimi i drugi, 2011) kriteriji su definirani kao tehnički / administrativni, ekonomski i okolišni kriteriji, vrlo slično radu (Ayediner i drugi, 2016) gdje se razlikuje definiranje tehničkog kriterija bez administrativne komponente. U radu (Wei i drugi, 2020) određena su četiri glavna kriterija kao tehnički, administrativni, ekonomski i okolišni kriteriji. Svi analizirani radovi imaju vrlo slične kriterije te je vidljiv uzorak raspodjele na najbitnije cjeline pri donošenju odluke za odabir tehnologije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. U radovima (Srdjevic i drugi, 2012), (Kalbar i drugi, 2013) i (Ćetković i drugi, 2023) autori formiraju hijerarhijsku strukturu u jednoj razini, s kriterijima koji se razlikuju s obzirom na specifičnosti zahtjeva za pročišćavanje otpadnih voda.

Kod izbora tehnologije pročišćavanja otpadnih voda u radu (Wei i drugi, 2020) tehnički kriteriji zasebno promatrani u odnosu na administrativne kriterije su: učinkovitost uklanjanja štetnih tvari (BPK, KPK, N, P sulfida, cijanida, ulja i druge tvari) iz otpadnih voda, dok u administrativne kriterije spada mogućnost nadogradnje sustava i fleksibilnost rada uređaja. U radu (Karimi i dr., 2011) su tehnički i administrativni kriteriji promatrani u cjelini te se oni odnose na učinkovitost uklanjanja štetnih tvari iz otpadnih voda, jednostavnost održavanja, fleksibilnost u radu, pouzdanost uređaja i mogućnost primjene same tehnologije.

Od ekonomskih kriterija može se zaključiti da se ističu: troškovi ulaganja (cijena izgradnje, cijena zemljišta i slično), troškovi održavanja i pogona, dugoročna održivost, mogućnosti financiranja i slično. Okolišni kriteriji analiziraju: utjecaj na okoliš u smislu širenja neugodnih mirisa, produkciju mulja i otpada, potencijal ponovnog korištenja pročišćene vode/štednju vode i slično.

Iako nisu istaknuti kao posebna kategorija glavnih kriterija u Tablici 1, od socioloških kriterija navode se sljedeći: podrška javnosti, suradnja s lokalnim ustanovama, uključivanje lokalnih ljudskih resursa u rad i održavanje uređaja i drugo.

U analiziranim radovima (Deepa i Krishnaveni, 2012), (Mansouri i drugi, 2013) i (Kafil i Albaji, 2018) AHP metoda je korištena za odabir lokacije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda te je u svim radovima formirana hijerarhijska struktura koja podrazumijeva dvije razine, kriterije i podkriterije. Okolišni, ekonomski i geološki kriteriji iz rada (Mansouri, 2013) su po raspodjeli na podkriterije vrlo slični kriterijima iz rada (Kafil i Albaji, 2018) gdje je umjesto geološkog kriterija naveden tehnički kriterij. U radu (Deepa i Krishnave-

ni 2012) kriteriji nisu definirani kroz glavne cjeline, već kao specifični zahtjevi koji se u podkriterijima dodatno raščlanjuju. U sva tri analizirana rada je korišten geografski informacijski sustav (GIS) u koji su implementirani rezultati dobiveni primjenom AHP metode te je izvršen odabir optimalne lokacije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

Pri odabiru lokacije UPOV-a može se zaključiti da su tehnički kriteriji pretežno geološki: nagib terena, karakteristike tla i slično, dok okolišni obuhvaćaju: vegetaciju, namjenu zemljišta, udaljenost od grada, gustoću naseljenosti, smjer puhanja vjetra i slično. Ekonomski kriteriji razmatraju: udaljenosti od glavnih prometnica, od grada i od recipijenta, visinske razlike i slično u cilju određivanja troškova izgradnje, pogona i održavanja.

U radu (Srdjević i dr., 2012) riječ je o pročišćavanju otpadnih voda iz industrije obojenih metala, u radu (Ayediner i dr., 2016) iz mliječne industrije i u radu (Wei i dr., 2020) koksne industrije. Svi ostali radovi analiziraju pročišćavanje sanitarnih otpadnih voda.

Iz analiziranih radova uočava se primjena AHP metode u donošenju odluka za centralne uređaje za pročišćavanje i za decentralizirane sustave.

Najvažniji elementi primjene AHP metode u analiziranim radovima su prikazani u Tablici 1.

Tablica 1. Primjena AHP metode pri odabiru tehnologije i lokacije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda

VRSTA PROBLEMA	Literatura (autori i godina objave)	Namjena uređaja je pročišćavanje otpadnih voda:	Hijerarhijska struktura		Glavni kriteriji					Specifični kriteriji koji nisu definirani kroz navedene glavne kriterije
			Razina 1 (kriteriji)	Razina 2 (podkriteriji)	Tehnički	Ekonomski	Okolišni	Administrativni	Geološki	
IZBOR TEHNOLOGIJE	Ellis i Tang, 1991	sanitarnih	•							*
	Tang i Ellis, 1994	sanitarnih	•							*
	Tang i dr., 1997	sanitarnih	•							*
	Karimi i dr., 2011	sanitarnih	•	•	•	•	•			
	Srdjevic i dr., 2012	industrije obojenih metala	•							*
	Kalbar i dr., 2013	sanitarnih	•							*
	Ayediner i dr., 2016	mliječne industrije	•	•	•	•	•			
	Wei i dr., 2020	koksne industrije	•	•	•	•	•	•		
	Četković i dr., 2023 *	sanitarnih	•							*
IZBOR LOKACIJE	Deepa i Krishnaveni, 2012	sanitarnih	•	•						*
	Mansouri i dr., 2013	sanitarnih	•	•		•	•		•	
	Kafil i Albaji, 2018	sanitarnih	•	•	•	•	•			

* Analizirani rad se odnosi na postojeći uređaj koji je nužno unaprijediti, dok se svi ostali radovi odnose na nove uređaje za pročišćavanje voda.

ZAKLJUČAK

Dobro upravljanje resursima vode i otpadnih voda podiže se status svake zemlje ili regije na viši nivo u aspektima zdravlja i gospodarstva. U budućim desetljećima troškovi ulaganja bit će implementirani u pročišćavanje otpadnih voda odabirom jeftinije tehnologije pročišćavanja otpadnih voda.

Odabir tehnologije pročišćavanja otpadnih voda čest je problem donošenja odluka s kojim se susrećemo u području upravljanja okolišem. Problem s trenutnim tehnologijama pročišćavanja je nedostatak održivosti. Razvoj ekološkog upravljanja otpadnim vodama u okviru kružnog gospodarstva pridonosi postizanju visoke kvalitete okoliša, visokih prinosa hrane, niske potrošnje, dobre kvalitete, visoke učinkovitosti proizvodnje i potpunog iskorištavanja otpada.

Ruralni, periurbani i urbani trebali bi se u budućnosti fokusirati na decentralizirane sustave pročišćavanja otpadnih voda. Odabir mjesta za male sustave za pročišćavanje otpadnih voda ovisi o mnogim tehničkim, okolišnim i socioekonomskim čimbenicima. Ulaganje, rad i održavanje decentraliziranih uređaja za pročišćavanje omogućit će višu razinu zaštite okoliša. Integracija GIS-a i AHP-a pruža najbolji alat za odlučivanje pri odabiru odgovarajućih decentraliziranih sustava za obradu na odgovarajućem mjestu. Analitički hijerarhijski proces (AHP) široko je korištena metoda u donošenju odluka. AHP je uveo Saaty (1972), s osnovnom pretpostavkom da je usporedba dva elementa izvedena iz njihove relativne važnosti. Odlučivanje u AHP-u kontinuirani je proces koji počinje od analize okruženja odlučivanja kako bi se razumjeli i rasporedili kriteriji u različite skupine i razine do evaluacije kriterija u njegovim rezultatima odlučivanja.

Pregledom literature može se zaključiti da su AHP metodu uspješno primijenili razni istraživači za odabir tehnologija i lokacija uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, za različite vrste otpadnih voda, za centralne UPOV-e i za decentralizirane sustave pročišćavanja, te pri tom koristili donekle slične kriterije, ali uz različitu strukturu i hijerarhiju kriterija.

ZAHVALA

Objavu rada sufinanciralo je Sveučilište u Rijeci kroz projekte: *Održivo upravljanje riječnim slivom implementacijom inovativnih metodologija, pristupa i alata (UNIRI-TEHNIC-18-129)* i *Hidrologija vodnih resursa i identifikacija rizika od poplava i blatnih tokova na krškim područjima (UNIRI-TEHNIC-18-54)*.

LITERATURA

- [1] Aydiner, C., Sen, U., Koseoglu-Imer, D.Y., & Dogan, E. (2016). *Hierarchical prioritization of innovative treatment systems for sustainable dairy wastewater management*. Journal of Cleaner Production, 112, 4605-4617. DOI: 10.1016/J.JCLEPRO.2015.08.107
- [2] Četković, J., Knežević, M., Vujadinović, R., Tombarević, E., & Grujić, M. (2023). *Selection of Wastewater Treatment Technology: AHP Method in Multi - Criteria Decision Making*. Water. DOI: 10.3390/w15091645

- [3] Deepa, K., & Krishnaveni, M. (2012). *Suitable Site Selection of Decentralised Treatment Plants Using Multicriteria Approach in GIS*. Journal of Geographic Information System, 2012, 254-260. DOI: 10.4236/JGIS.2012.43030
- [4] Ellis, K.V., & Tang, S.L. (1991). *Wastewater Treatment Optimization Model for Developing World. I: Model Development*. Journal of Environmental Engineering, 117, 501-518. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9372(1991)117:4(501)
- [5] Hajkowicz, S; Collins, K.: *A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management*, Water Resources Management 21(2007) 9, 1553-1566.
- [6] Hajkowicz, S.; Higgins, A.: *A comparison of multi - criteria analysis techniques for water management*, European journal of operational research, 184 (2008), 255-265.
- [7] Kafil, M., & Albaji, M. (2017). *Selecting wastewater sites using analytical hierarchy and geographic information system*. DOI: 10.1680/JMUEN.16.00001
- [8] Kalbar, P.P., Karmakar, S., & Asolekar, S.R. (2013). *The influence of expert opinions on the selection of wastewater treatment alternatives: a group decision - making approach*. Journal of environmental management, 128, 844-51. DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.06.034
- [9] Karimi, A.R., Mehrdadi, N., Hashemian, S.J., Bidhendi, G.R., & Moghaddam, R.T. (2011). *Selection of wastewater treatment process based on the analytical hierarchy process and fuzzy analytical hierarchy process methods*. International Journal of Environmental Science & Technology, 8, 267-280. DOI: 10.1007/BF03326215
- [10] Karleuša, B.: *Primjena postupaka višekriterijske optimalizacije u gospodarenju vodom - magistarski rad*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2002.
- [11] Karleuša, B., Ožanić, N.: *Određivanje prioriteta u realizaciji vodnogospodarskih planova* Građevinar: časopis Hrvatskog saveza građevinskih inženjera, **63** (2011), 2; 151-161 doi:UDK 626.01.001.3:69.008)
- [12] Mansouri, Z., Moghaddas, N.H., & Dahrazma, B. (2013). *Wastewater treatment plant site selection using AHP and GIS: a case study in Falavarjan, Esfahan*. DOI: 10.22059/JGEOPE.2013.36015
- [13] *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, International Series in Operations Research & Management Science, Vol. 78, Springer, New York, 2005.
- [14] Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/20)
- [15] Saaty, T. L.: *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory*, RWS Publications, Pittsburg, 1994.
- [16] Saaty, T. L.: *The Analytic Hierarchy Process*, drugo izdanje, RWS Publications, Pittsburg, 1996.
- [17] Srdjevic, Z., Samardzic, M., & Srdjevic, B. (2012). *Robustness of AHP in selecting wastewater treatment method for the coloured metal industry: Serbian case study*. Civil Engineering and Environmental Systems, 29, 147 - 161. DOI: 10.1080/10286608.2012.672412

- [18] Šperac, M., Obradović, D.: *Upravljanje kakvoćom vodnih resursa uz podršku ekspertnih sustava*. Kvaliteta - jučer, danas, sutra / Drljača, Miroslav (ur.). Sveta Nedelja: Hrvatsko društvo menadžera kvalitete, Zagreb, Hrvatska, 2019. str. 517-528
- [19] Tang, S.L., & Ellis, K.V. (1994). *Wastewater Treatment Optimization Model for Developing World. II: Model Testing*. Journal of Environmental Engineering, 120, 610-624. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9372(1994)120:3(610)
- [20] Tang, S.L., Wong, C., & Ellis, K.V. (1997). *An Optimization Model for the Selection of Wastewater and Sludge Treatment Alternatives*. Water and Environment Journal, 11. DOI: 10.1111/j.1747-6593.1997.tb00083.x
- [21] Triantaphyllou, E.: *Multi - criteria decision making methods: A comparative study*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2000.
- [22] Wei, C., Wei, J., Kong, Q., Fan, D., Qiu, G., Feng, C., Li, F., Preis, S., & Wei, C. (2020). *Selection of optimum biological treatment for coking wastewater using analytic hierarchy process*. The Science of the total environment, 742, 140400. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140400

AUTORI

prof. dr. sc. Marija Šperac ^a

prof. dr. sc. Barbara Karleuša ^b

Marta Marija Bilić, mag. ing. aedif. ^c

^a Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Vladimira Preloga 3, Osijek, 31 000, Hrvatska, msperac@gfos.hr

^{b,c} Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, barbara.karleusa@uniri.hr; marta.marija.bilic@gradri.uniri.hr



R 3.12.

UČINKOVITOST RADA UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U EKSTREMNIM HIDROLOŠKIM UVJETIMA

Dario Pavlović, Gorana Ćosić - Flajsig, Dejan Kovačević, Valerija Brlek

SAŽETAK: Funkcioniranje mješovitog kanalizacijskog sustava kod ekstremnih hidroloških uvjeta ima značajan utjecaj na rad uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV). U radu je na primjeru Centralnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba (CUPOVZ), analizirana učinkovitost rada UPOV-a i njegovih pojedinih jedinica u ekstremnim hidrološkim uvjetima. Analizirane su: tehničke karakteristike i postupci pročišćavanja otpadne vode CUPOVZ-a, hidrološki podaci vezani uz ekstremne hidrološke događaje iz 2020. i 2021. godine. te podaci uzorkovanja količine i kakvoće otpadnih voda redovnog samokontrolnog monitoringa kakvoće otpadne vode CUPOVZ-a, te prikazana učinkovitost pojedinih jedinica i cijelog CUPOVZ-a u ekstremnim hidrološkim uvjetima. Poseban naglasak stavljen je na ulogu primarnih i sekundarnih taložnika obzirom na značajan utjecaj hidroloških ekstrema na njihova rad.

KLJUČNE RIJEČI: Mješoviti kanalizacijski sustav, Ekstremni hidrološki uvjeti, Učinkovitost rada UPOV-a, Učinkovitost rada taložnika

EFFICIENCY OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS UNDER EXTREME HYDROLOGICAL CONDITIONS

ABSTRACT: The functioning of a combined sewage system under extreme hydrological conditions has a significant impact on the operation of a wastewater treatment plant (WWTP). In the paper, the efficiency of the operation of a WWTP and its individual units under extreme hydrological conditions is analysed on the example of the Central Wastewater Treatment Plant of the City of Zagreb (CWTPZ). The following aspects are analysed: the technical characteristics and wastewater treatment procedures of the CWTPZ, hydrological data related to the extreme hydrological events from 2020 and 2021, as well as the data on the sampling of wastewater quantity and quality from the regular wastewater quality self-monitoring by the CUPOVZ. The effectiveness of individual units and the entire CUPOVZ under extreme hydrological conditions is presented. A special emphasis is placed on the role of primary and secondary precipitators, considering the significant influence of hydrological extremes on their operation.

KEYWORDS: Combined sewage system, Extreme hydrological conditions, WWTP efficiency, Efficiency of precipitator operation

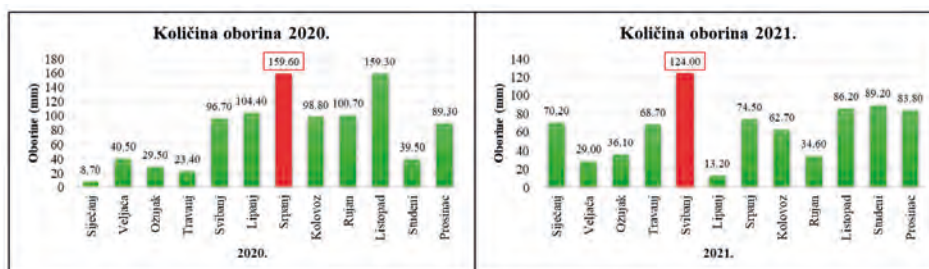
1. UVOD

Funkcioniranje mješovitog kanalizacijskog sustava kod ekstremnih hidroloških uvjeta, kao posljedica klimatskih promjena, ima značajan utjecaj na rad uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV). Centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Zagreb (CUPOVZ) osim prihvaćanja sanitarne otpadne vode iz kanalizacijske mreže grada Zagreba, prihvaća i vode podsljemenskih potoka kao i oborinske vode koje hidraulički opterećuju kanalizacijski sustav, a za vrijeme jačih oborina unose u sustav dodatne količine suspendirane tvari (ST).. Radi toga dolazi do smanjenja učinkovitosti rada CUPOVZ-a. (Deduš, Rogulja, 2001.).

CUPOVZ izveden je kao konvencionalni uređaj drugog stupnja pročišćavanja s aktivnim muljem, dimenzioniran na 1,2 milijuna ES (ekvivalent stanovnika) s mogućnošću proširenja na 1,5 milijuna ES, kao i proširenja na treći stupanj pročišćavanja (Tušar i drugi, 2009). Učinkovitost rada CUPOVZ-a svakodnevno se prati uzimanjem uzoraka putem redovnog monitoringa samokontrole otpadnih voda, a provodi se analizom uzoraka otpadnih voda na mjernim postajama: 1. na ulazu u uređaj, 2. nakon prethodnog taložnika, 3. nakon bio aeracijskih bazena, 4. na izlazu iz uređaja. Karakteristični pokazatelji otpadnih voda definirani su prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (Narodne novine, broj 26/20) i prema vodopravnoj dozvoli, Uzorci se obrađuju u ispitnom laboratoriju CUPOVZ-a. U ovom radu analizirani su hidrološki događaji, maksimalne i minimalne oborine praćene tijekom dvije godine, te vrijednosti pokazatelja onečišćenja u istom vremenskom razdoblju s ciljem praćenja učinkovitosti pročišćavanja otpadnih voda u ekstremnim hidrološkim uvjetima. Radi se o relativno kratkom vremenskom razdoblju velikog broja dostupnih podataka CUPOVZ-a.

2. ANALIZA PROSJEČNIH MJESEČNIH OBORINA I PROTOKA

Analiza prosječnih mjesečnih oborina provedena je temeljem podataka mjerenja dnevnih oborina dobivenih od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) s mjerne postaje Maksimir (DHMZ, 2022.) tijekom 2020. i 2021. godine. Prikaz prosječnih mjesečnih oborina za 2020. i 2021. godinu prikazani su na Slici 1.



Slika 1. Prosječna mjesečna oborina za 2020. i 2021. godinu na meteorološkoj postaji Maksimir (DHMZ, 2022.)

Analizom podataka sa Slike 1. može se uočiti neujednačena raspodjela prosječnih mjesečnih oborina u promatranim godinama. Maksimalna prosječna mjesečna oborina zabilježena je u mjesecu srpnju 2020. i iznosi 159,60 mm, dok je maksimalna prosječna

oborina zabilježena u mjesecu svibnju 2021. godine i iznosi 124 mm. Obzirom da se obrađuju samo podaci u periodu promatranja od dvije godine, analiza utjecaja oborine na učinkovitost rada UPOV-a, provedena je za mjesec u kojem se pojavljuju maksimalne vrijednosti oborina, odnosno za mjesec srpanj 2020. godine. Uz prosječne mjesečne oborine, analizirani su i prosječni mjesečni dotoci otpadne vode koja dolazi do CUPOVZ-a (mjerna postaja 1) kako bi se pokušao ustanoviti utjecaj oborina na ukupni mjesečni protok. Prikaz oborina i protoka otpadne vode koji dolaze na CUPOVZ prikazani su u tablici 1.

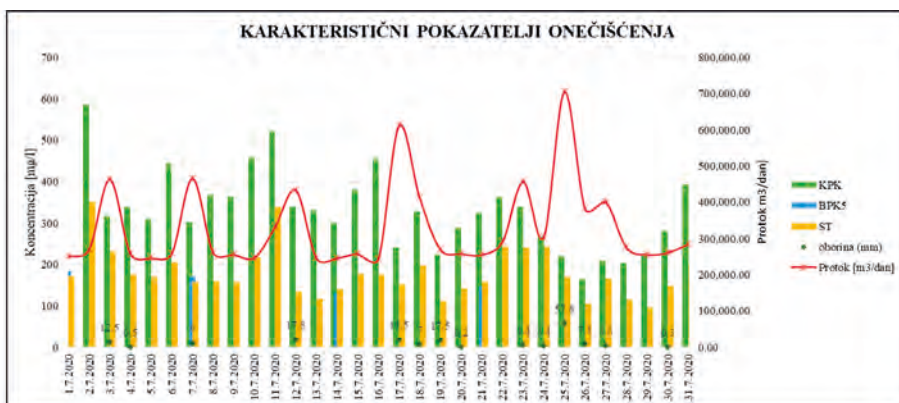
Tablica 1. Oborine i protoci za 2020. i 2021. godinu (podaci DHMZ-a i ZOV-a)

2020.	Sječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
Oborina [mm]	8.7	40.5	29.5	23.4	96.7	104.4	159.6	98.8	100.7	159.3	39.5	89.3
Protok [m ³ /d]	335,047	330,218	319,170	282,480	316,011	332,915	328,034	291,682	291,936	411,739	314,467	399,011
2021.	Sječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
Oborina [mm]	70.2	29	36.1	68.7	124	13.2	74.5	62.7	34.6	86.2	89.2	83.8
Protok [m ³ /d]	440,048	411,369	334,501	342,263	432,941	308,155	283,268	239,850	254,214	314,316	330,785	335,602

Analizom prosječnih vrijednosti protoka prikazanih u Tablici 1., zaključuje se da utjecaj prosječnih mjesečnih oborina koji se pojavljuju u 2020. i 2021. godini ne uzrokuju nužno i maksimalni protok u promatranom mjesecu, što se pripisuje utjecaju smanjenog sušnog protoka u pojedinim periodima godine i veće količine oborine u kratkom vremenskom razdoblju, te rasterećenju kanalizacijskog sustava putem kišnih preljeva. U sljedećem poglavlju analizirati će se utjecaj oborina, u mjesecu ekstremnih oborina, na karakteristične pokazatelja onečišćenja na CUPOVZ-u.

3. ANALIZA VRIJEDNOSTI KARAKTERISTIČNIH POKAZATELJA ONEČIŠĆENJA NA CUPOVZ

Analiza karakterističnih pokazatelja onečišćenja koji dolaze na uređaj u mjesecu srpnju 2020. godine prikazana je na slici 2.



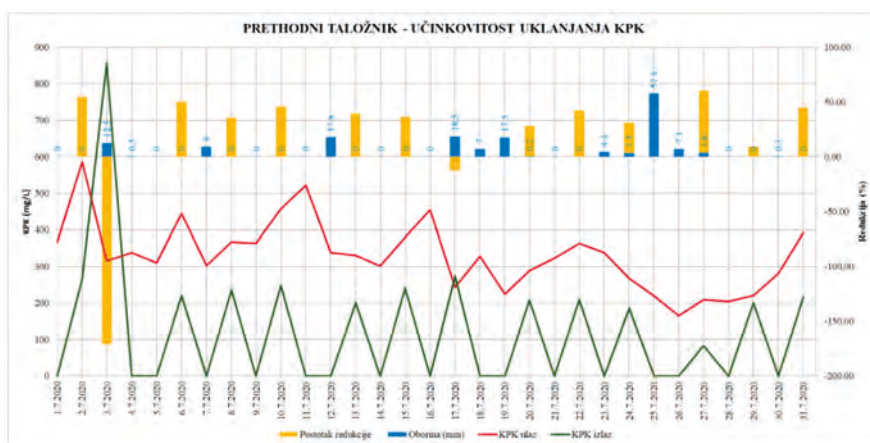
Slika 2. Ulazne vrijednosti KPK, BPK₅ i ST u srpnju 2020. godini

Analizom podataka prikazanih na Slici 2. može se uočiti ujednačen protok otpadne vode u periodima sušnog razdoblja, dok neovisno o količini ili intenzitetu dnevnih oborina na CUPOVZ dolazi veći protok. Isto tako, uočava se smanjenje vrijednosti pokazatelja

onečišćenja KPK, BPK_5 i ST tijekom pojave većih vrijednosti dnevnih oborina koje se nastavlja u narednih par dana nakon oborine. To se može pripisati razrijeđenju otpadnih voda oborinskim vodama, „čišćenju“ kanalizacijskog sustava i rasterećenju oborinskih voda, nakon čega ponovo dolazi do povećanja pokazatelja onečišćenja uslijed sušnih dana. U daljnjem radu provest će se analiza učinkovitosti rada CUPOVZ-a i pojedinih jedinica.

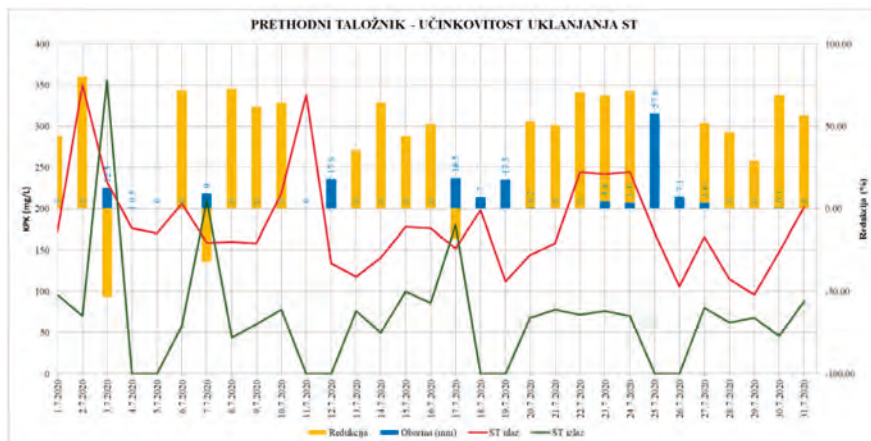
4. ANALIZA UČINKOVITOSTI RADA CUPOVZ-A I POJEDINIH JEDINICA

Učinkovitost prethodnih taložnika (PT) određuje se usporedbom vrijednosti pokazatelja mjerenih na mjernim postajama 1 (na ulazu u uređaj) i mjernom mjestu 2 (na izlazu iz prethodnih taložnika). Detaljno su analizirani pokazatelji onečišćenja KPK i ST koji se svakodnevno mjere na CUPOVZ-u, dok je BPK_5 zbog mjerenja svakih pet dana određen prema vrijednostima KPK koje su dva puta veće. Na slikama 3 i 4 prikazana je učinkovitost uklanjanja KPK-a i ST u za dnevne ulazne podatke u mjesecu srpnju 2020. godine. Zbog različitih učestalosti mjerenja pojedinih pokazatelja onečišćenja (KPK i ST) na mjernom mjestu 2, promatrani su samo dani u kojima su dostupna sva mjerenja. Na slici 3 vidi se učinkovitost uklanjanja KPK kod prethodnih taložnika.



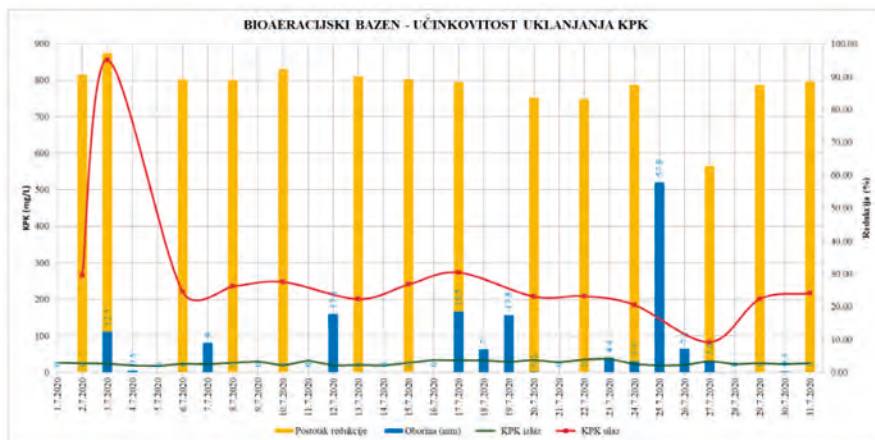
Slika 3. Učinkovitost uklanjanja KPK u prethodnom taložniku u mjesecu srpnju 2020. godine

Analizom dnevnih ulaznih podataka prikazanih na slici 3. može se uočiti pad ulaznih vrijednosti KPK s pojavom većih količina oborine i smanjenje postotka redukcije KPK na izlazu iz uređaja. Značajnije odstupanje izlaznih vrijednosti KPK od ostalih mjerenja dogodilo se dana 3. srpnja 2020. i 17. srpnja 2020. godine, kada su izlazne vrijednosti bile veće od ulaznih vrijednosti što se pripisuje povećanom oborinskom protoku nakon dužeg sušnog perioda i smanjenog vremena zadržavanja u prethodnom taložniku. Vrijeme zadržavanje u navedenim periodima iznosilo je 1,13 h i 0,92 h, što je manje od projektom predviđenog vremena zadržavanja kod sušnog protoka od 1,43 h. Na slici 4 vidi se učinkovitost uklanjanja ST kod prethodnih taložnika.



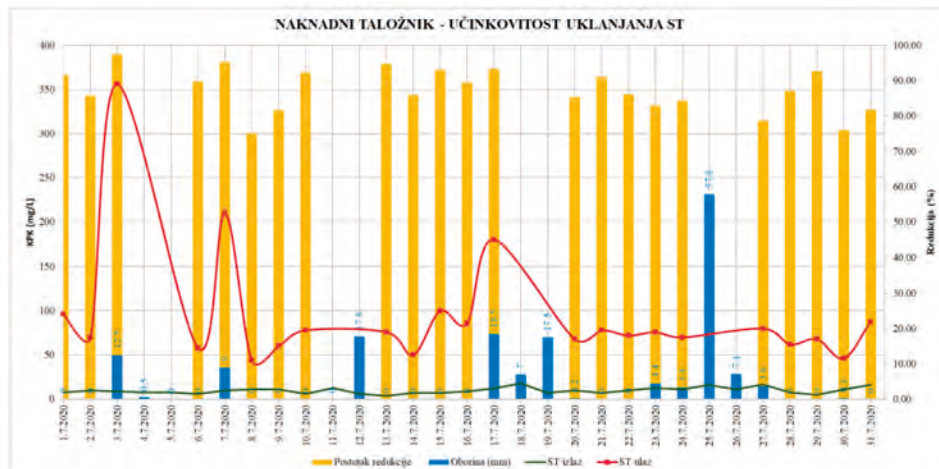
Slika 4. Učinkovitost uklanjanja ST u prethodnom taložniku u mjesecu srpnju 2020. godine

Analizom učinkovitosti uklanjanja vrijednosti ST-a prikazanih na slici 4., kao i učinkovitosti uklanjanja vrijednosti KPK, uočava se smanjenje učinkovitosti prethodnog taložnika uslijed razrjeđenja otpadne vode i kraćeg vremena zadržavanja u danima oborina većeg intenziteta. Isto tako, uočava se pad vrijednosti ST-a u danima nakon oborinskog perioda što je rezultat „čišćenja“ kanalizacijskog sustava. Odstupanja vrijednostima mjerenju zabilježena su dana 3. srpnja 2020., 7. srpnja 2020. i 17. srpnja 2020. godine, kada je zbog većih količina oborine na uređaj došao veći protok koji je uzrokovao podizanje već istaloženih čestica s dna prethodnog taložnika i pronošenja kroz prethodni taložnik, te su vrijednosti na mjernom mjestu 2. bile veće od ulaznih vrijednosti. Nakon pročišćavanja na prethodnim taložnicama otpadna voda teče do razdjelnog okna, te se ravnomjerno odvodi prema bioeracijskim bazenima u kojima se odvija biološko pročišćavanje otpadne vode i uklanjanje organske tvari. Analiza učinkovitosti bioeracijskih bazena provodi se temeljem ulaznih podataka mjerenih na mjernom mjestu 3. (na ulazu u bioeracijske bazene) i izlaznih mjerenih rezultata smjernog mjesta 4. (na izlazu iz bioeracijskih bazena). Na slici 5. prikazana je učinkovitost uklanjanja KPK u bioeracijskim bazenima.



Slika 5. Učinkovitost uklanjanja KPK u bioeracijskim bazenima za mjesec srpanj 2020. godine

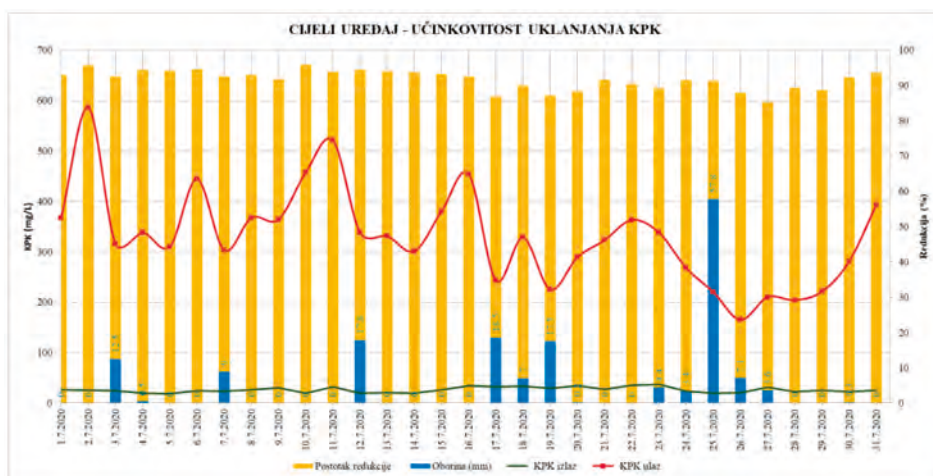
Rezultatima mjerenja ulazno - izlaznih vrijednosti KPK prikazanih na slici 5., može se uočiti da neovisno o različitim vrijednostima ulaznih podataka KPK, izlazne vrijednosti u danima mjerenja daju približno iste vrijednosti. Iako utjecaj većih dnevnih oborina i smanjenja vrijednosti KPK na ulazu, uslijed razrjeđenja otpadne vode, dovodi do manje učinkovitosti uklanjanja vrijednosti KPK, izlazne vrijednosti KPK su i dalje izuzetno niske i ujednačene. Iz istog se može zaključiti da učinkovitost uklanjanja KPK ne ovisi značajno o oborinama i prosječno iznosi 87 %. Učinkovitost uklanjanja ST u naknadnim taložnicima prikazana je na slici 6.



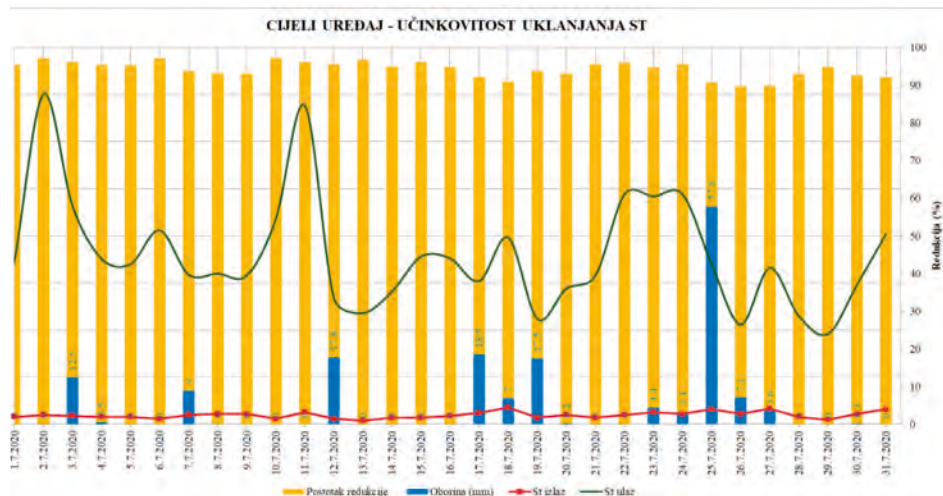
Slika 6. Učinkovitost pročišćavanja ST u naknadnim taložnicima u srpnju 2020. godini

Analizom podataka na Slici 6 može se uočiti porast vrijednosti ST-a u razdobljima većih oborina, a koji je rezultat smanjene učinkovitosti prethodnih taložnika i povećanih vrijednosti ST-a koje dolaze u naknadni taložnik. Iako učinkovitost naknadnih taložnika

uslijed povećanih vrijednosti ST pokazuju visoku učinkovitost koja se kreće iznad 90 %, potrebno je sagledati učinkovitost uslijed oborinskih razdoblja kod kojih nije došlo do poremećaja rezultata nakon postupka prethodnog taloženja. Kišni događaji u periodu od 17. - 19. srpnja 2020. godine i od 23. - 27. srpnja 2020. godine uzrokovali su smanjenje koncentracija ST što utiče na smanjenu učinkovitost uklanjanja ST. U sušnim danima nakon oborinskih događaja dolazi do povećanja koncentracija ST koje ulaze u proces naknadnog taloženja i do povećanja učinkovitost redukcije. Izlazne vrijednosti koncentracija ST-a nakon postupka prethodnog taloženja i u periodima manje učinkovitosti uklanjanja prosječno iznose 10 mg/L. U nastavku rada daje se prikaz učinkovitosti cijelog uređaja u mjesecu s najviše oborina. Učinkovitost uređaja će se odrediti usporedbom mjerenih vrijednosti pokazatelja onečišćenja dobivenih na mjernom mjestu na ulazu u uređaj i na mjernom mjestu na izlazu iz uređaja. Na slikama 7 i 8 prikazane su ulazno - izlazne vrijednosti onečišćenja (KPK i ST) i učinkovitost uklanjanja na cijelom uređaju za mjesec srpanj 2020. godine.



Slika 7. Učinkovitost uklanjanja KPK na cijelom uređaju - srpanj 2020. godine



Slika 8. Učinkovitost uklanjanja ST na cijelom uređaju - srpanj 2020. godine

Analizom rezultata sa slike 7. i slike 8. primjetno je da u periodima većih vrijednosti dnevnih oborina dolazi do razrjeđenja otpadne vode i pada koncentracije pokazatelja onečišćenja KPK i ST-a uslijed većeg protoka otpadne vode na uređaj. U danima koji slijede nakon oborina koje su „čistile“ kanalizacijski sustav, na CUPOVZ dolazi samo sušni protok i porast koncentracije onečišćenja otpadne vode. U danima kada se pojavljuju veće oborine primjetno je smanjenje učinkovitosti rada cijelog uređaja u odnosu na sušne periode. Povećane vrijednosti pokazatelja onečišćenja otpadne vode u sušnim periodima direktan su rezultat opterećenja kanalizacijskog sustav sušnim protokom i količinom otpadne vode koja dolazi na uređaj. Analizirajući izlazne koncentracije onečišćenja cijelog uređaja može se zaključiti da vrijednosti KPK i ST-a ne odstupaju značajno, neovisno radi li se o sušnom ili kišnom protoku. Usporedba podataka mjerenja učinkovitosti uklanjanja KPK, BPK₅ i ST na CUPOVZ-u s podacima iz Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (Narodne novine, broj 26/20) prikazana je u Tablici 2., te se može se uočiti visoka razina učinkovitost uklanjanja onečišćenja na CUPOVZ-u.

Tablica 2. Ukupna učinkovitost u srpnju 2020. godine

Prosječna redukcija kod pokazatelja (%)	POSTOTAK SMANJENJA ONEČIŠĆENJA [%] MJERENO NA CUPOVZ-11			NAJMANJI POSTOTAK SMANJENJA ONEČIŠĆENJA [%] ZA CIJELI UREĐAJ			GRANIČNA VRIJEDNOST [mg/L]		
	KPK	BPK ₅	ST	KPK	BPK ₅	ST	KPK	BPK ₅	ST
Prethodni taložnici	21	32	46	75	70	90	125	25	35
Bioeneracijski bazeni	87	96							
Naknadni taložnici			87						
Cijeli uređaj	92	97	94						

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Zagreb je veliki grad s raznolikim slivnim područjem odvodnje otpadnih voda, gdje osim sanitarnih, industrijskih i oborinskih voda u kanalizacijski sustav ulaze i brdski sljemenski potoci s retencijama, zbog kojih se dotjecanje oborinske voda javlja sa zakašnjenjem. Iako veliki broj čimbenika utječe na količinu vode koja dolazi na CUPOVZ, u radu je provedena analiza učinkovitosti CUPOVZ uslijed povećanog protoka uzrokovanog utjecajem dnevnih oborina mjerenih na mjernoj postaji Maksimir koja je najbliža CUPOVZ-u, koje se pojavljuju u mjesecu ekstremnih hidroloških uvjeta, odnosno maksimalnih mjesečnih oborina u promatranom razdoblju od dvije godine. Zbog kratkog vremena promatranja od samo dvije godine, ne mogu se donositi mjerodavni zaključci o posljedicama klimatskih promjena na raspored oborina unutar godine, te će za konkretnije zaključke biti nužno provesti analizu u dužem periodu promatranja od minimalno 10 godina. Analizom ulaznih protoka u promatranom mjesecu, primjetno je povećanje protoka uslijed pojave dnevnih oborina. Veća količina oborine koja padne u jednom danu dovodi do povećanja protoka i smanjenja koncentracije onečišćenja uslijed razrjeđenja otpadne vode. Smanjena učinkovitost pročišćavanja kod takvih događaja primjetna je kod prethodnih taložnika uslijed kraćeg vremena zadržavanja, dok je u ostalim procesima pročišćavanja zbog mogućnosti upravljanja tehnološkim procesom uslijed razrjeđenja voda učinkovitost izuzetno visoka. Slijedom navedenog može se zaključiti da su konvencionalni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda s aktivnim muljem izuzetno otporni na promjenu protoka.

LITERATURA

- [1] Deduš, B., Rogulja, (2001): *GOK u projektu optimalizacije kanalizacijskog sustava Zagreb (POKS)*, Građevinar Vol 53 No. 04, 2001, 241-249 str.
- [2] DHMZ (2022): *Podaci mjerenja hidrološke postaje Maksimir za 2020. i 2021. godinu*
- [3] Narodne novine broj 26/20: Pravilnik o граниčnim vrijednostima emisija otpadnih voda
- [4] Tušar, B. et al. (2009): *Centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Zagrebu (CUPOVZ)*, Hrvatske vode, str. 241-2503.
- [5] Zagrebačke otpadne vode (ZOV) (2022): *Upravljanje i pogon na CUPOVZ-u 2020. i 2021. godine, godišnji izvještaji*, Zagreb

AUTORI

Dario Pavlović, mag. ing. aedif. ^a

dr. sc. Gorana Ćosić - Flajsig, dipl. ing. građ. ^a

Dejan Kovačević, dipl. ing. građ. ^a

Valerija Brlek, mag. ing. aedif. ^b

^a Tehničko veleučilište u Zagrebu, Graditeljski odjel, Zagreb, Av. V. Holjevca 15,
10000 Zagreb, Hrvatska, dario.pavlovic@tvz.hr

^b Via Factum d.o.o., Donje Svetice 46c, 10000 Zagreb, Hrvatska,
valerijabrlek98@gmail.com



R 3.13.

UGLJIČNI OTISAK UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA PRIMJENOM METODOLOGIJE EIB-a

Domagoj Nakić, Stela Babić, Dražen Vouk, Ivan Halkijević

SAŽETAK: Intencija je EU da se analize utjecaja projekata na klimatske promjene sustavno uključe u širok raspon privatnih i javnih projekata, pa tako i u slučaju vodno-komunalnih projekata i izgradnje uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV). Glavni staklenički plinovi koji se oslobađaju u atmosferu u postupcima pročišćavanja otpadnih voda su metan, ugljikov dioksid te dušikov oksid. U radu je objašnjena primjena metodologije za proračun ugljičnog otiska, odnosno ukupnih emisija stakleničkih plinova, UPOV-a analizirajući različite stupnjeve pročišćavanja i varijante zbrinjavanja mulja prema smjernicama Europske investicijske banke za određivanje utjecaja zahvata na okoliš i doprinos projekta klimatskim promjenama. Na primjeru aglomeracije Labin - Raša (20.100 ES) pokazano je da se ukupne potencijalne emisije stakleničkih plinova nastale zbrinjavanjem otpadnih voda kreću u rasponu 717,30 do 4.060,20 tCO₂e/god u ovisnosti o primijenjenom stupnju pročišćavanja te postupcima obrade i zbrinjavanja mulja. Pritom se kao rješenje s najmanjim potencijalnim emisijama pokazao III. stupanj pročišćavanja s uključenom anaerobnom digestijom mulja i njegovim daljnjim zbrinjavanjem postupcima spaljivanja/suspaljivanja.

KLJUČNE RIJEČI: Ugljični otisak, UPOV, EIB metodologija, Staklenički plinovi, CO₂e, Aglomeracija Labin - Raša

CARBON FOOTPRINT OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS USING THE EIB METHODOLOGY

ABSTRACT: It is the intention of the EU that analyses of the impact of projects on climate change are systematically included in a wide range of private and public projects, including water and wastewater projects and the construction of wastewater treatment plants (WWTPs). The main greenhouse gases that are released into the atmosphere in wastewater treatment processes are methane, carbon dioxide and nitrogen oxide. The paper explains the application of the methodology for calculating the carbon footprint, i.e. the total greenhouse gas emissions of WWTPs by analysing different wastewater treatment levels and sludge disposal variants according to the guidelines of the European Investment Bank for determining the impact of projects on the environment and their contribution to climate change. On the example of the Labin - Rasa agglomeration (20.100 PE), it

was shown that the total potential emissions of greenhouse gases resulting from wastewater treatment range from 717.30 to 4.060.20 tCO₂e/year, depending on applied treatment level and sewage sludge treatment and disposal methods. The solution with the lowest potential emissions proved to be tertiary treatment with anaerobic digestion of sludge and its disposal by incineration/co-incineration.

KEYWORDS: Carbon footprint; WWTP, EIB Methodology, Greenhouse Gasses, CO₂e, Agglomeration Labin - Rasa

1. UVOD

Globalna promjena klime danas je jedan od najvećih izazova čovječanstva. Potreba za djelovanjem na klimatske promjene prepoznata je u cijeloj Europi, ali i širom svijeta. Da bi se postigao napredak u suzbijanju i prilagodbi klimatskim promjenama te zaustavila degradacija ekosustava, neophodno je u potpunosti uključiti ova pitanja u planove, programe i projekte koji se provode u cijeloj Europskoj uniji (EU). Cilj Pariškog sporazuma o zadržavanju porasta temperature do najviše 2 °C te s dodatnim naporima za zadržavanje temperature unutar 1,5 °C, Republika Hrvatska ostvaruje kolektivno u okviru politike EU (MINGOR, 2021). Deset najtoplijih godina otkada mjerenja postoje su sve između 2010. i 2022., a 2022. godina je bila za 1,06 °C toplija od prosječne temperature perioda između 1880. i 1900. godine (Lindsey i Dahlman, 2023). Iako staklenički plinovi imaju ključnu ulogu u osiguranju života na Zemlji, budući da bi bez njihova djelovanja prosječna temperatura iznosila oko - 19 °C, umjesto sadašnjih oko 14 °C, s povećanjem njihove koncentracije u atmosferi dolazi i do pojačanog efekta staklenika, što u konačnici uzrokuje fenomen globalnog zatoplivanja (Cassia i dr., 2018).

Intencija je EU da se analize utjecaja projekata na klimatske promjene sustavno uključe u širok raspon privatnih i javnih projekata. Navedeno je prepoznato i nacionalnom regulativom gdje je Uredbom o procjeni utjecaja zahvata na okoliš (Narodne novine, br. 61/14 i 3/17) definirana obveza procjene utjecaja određenog zahvata na klimu (primjerice: vrsta i količina emisija stakleničkih plinova) i ocjena podložnosti zahvata klimatskim promjenama. Uključivanje klimatskih promjena u postupke procjene utjecaja zahvata na okoliš pomaže da se postignu klimatski ciljevi definirani EU i nacionalnim zakonodavstvom i politikama. Odgovori na klimatske promjene uobičajeno se mogu podijeliti na dva aspekta: ublažavanja i prilagodba, pri čemu se tematika ovog rada bazira na ublažavanju klimatskih promjena, što se u prvom redu nastoji postići smanjenjem emisija stakleničkih plinova koji doprinose klimatskim promjenama. Ukupna emisija stakleničkih plinova u Republici Hrvatskoj, isključujući ponore, u 2018. godini iznosila je 23.792,80 kt CO₂e, što predstavlja smanjenje emisija za 25,36 % u odnosu na emisiju stakleničkih plinova u 1990. godini. U ukupnoj emisiji stakleničkih plinova ugljikov dioksid (CO₂) čini 74,5 %, metan (CH₄) 16,3 %, didušikov oksid (N₂O) 7,1 %, a fluorirani ugljikovodici 2,1 %. Sektor otpada sudjeluje u ukupnoj emisiji stakleničkih plinova Republike Hrvatske s 8,6 % u 2018. godini, od čega 99,6 % potječe iz ključnih izvora emisije: odlaganja krutog otpada i upravljanja otpadnim vodama. Iako se najveći dio toga (86,9 % emisije) odnosi na odlaganje krutog otpada, područje upravljanja otpadnim vodama i dalje sudjeluje u ukupnim emisijama sa značajnim iznosima (Strategija niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu (Narodne novine, broj 63/21)).

Ugljični otisak (*engl. carbon footprint*) uveden je kao mjera emisije stakleničkih plinova kojom se kroz razrađene metodologije Europske investicijske banke (EIB) efikasno može usporediti različita varijantna rješenja određenog projekta, ali i uključiti troškove tzv. ugljika u sjeni u analize isplativosti projekta. Praktički svaki projekt uzrokuje određene emisije stakleničkih plinova u atmosferu, bilo direktno (primjerice kroz potrošnju goriva ili emisije u procesu proizvodnje) ili indirektno (primjerice kroz kupljenu i utrošenu električnu energiju). Upravo je metodologija EIB-a (*EIB Project Carbon Footprint Methodologies - Methodologies for the assessment of project greenhouse gas emissions and emission variations*) ključni dokument za procjenu utjecaja projekta na klimatske promjene u sklopu izrade studija, odnosno elaborata u postupcima procjene utjecaja zahvata na okoliš i ocjene o potrebi procjene utjecaja na okoliš.

Iako su UPOV-i kao ključni infrastrukturni dijelovi sustava zbrinjavanja otpadnih voda po svojoj naravi građevine kurativne prirode, odnosno usmjerene na poboljšanje stanja okoliša, prvenstvo na izbjegavanje onečišćenja i zagađenja prirodnih vodnih tijela, ipak u svom radu neminovno generiraju i određene emisije stakleničkih plinova. Navedeno je posljedica korištenja energije i kemikalija u procesu, ali i same prirode postupaka pročišćavanja otpadnih voda gdje uslijed kemijskih procesa razgradnje onečišćujućih tvari prisutnih u vodi dolazi, između ostalog, i do emisija stakleničkih plinova u atmosferu. Iako ove emisije u ukupnim antropogenim emisijama predstavljaju tek manji udio, ipak ih je važno prepoznati, usporediti na razini varijantnih rješenja te primijeniti mjere za njihovo izbjegavanje i smanjenje. Kako bi se navedeno postiglo potrebno je raspolagati sveobuhvatnim i pouzdanim podacima o jediničnim emisijama pojedinih procesa, što još uvijek predstavlja značajan izazov (Wang i dr., 2022). Navedeno je prepoznato i od strane europskih i nacionalnih regulatornih tijela pa je stoga, kao jedan od pojednostavljenih alata za procjenu ukupnih emisija stakleničkih plinova (ugljičnog otiska) projekata općenito, pa tako i UPOV-a, predložena upravo Metodologija EIB-a. Neovisno o navedenom, postoje i brojni drugi matematički modeli (statički i dinamički) i metodologije dane od strane različitih pravnih subjekata, još od prvih smjernica za kvantifikaciju emisija stakleničkih plinova iz 1997. koje je predložio IPCC (Međuvladin panel o klimatskim promjenama, *engl. Intergovernmental Panel on Climate Change*) (Singh i Maurya, 2016). Pojedine od njih ne uključuju emisije CO₂ zbog njegova biogenog porijekla što može dovesti do bitnog podcjenjivanja ukupnih emisija i time uzrokovati i značajnije razlike u konačnim rezultatima dobivenim primjenom različitih modela i metodologija.

Europska komisija (2021.) je izdala Tehničke smjernice za pripremu infrastrukture za klimatske promjene u razdoblju 2021. - 2027., kojima se preporučuje upotreba metodologije EIB-a za procjenu ugljičnog otiska (kvantifikaciju emisija stakleničkih plinova) i EIB-ove metode izračuna troška ugljika u sjeni (monetizaciju emisija stakleničkih plinova). Pritom je značajno istaknuti očekivani rast troška ugljika u sjeni s 80 EUR/tCO₂e u 2020. godini na 800 EUR/tCO₂e u 2050. godini, što dodatno ukazuje na značaj kvalitetnog provođenja predmetnih izračuna budući isti mogu rezultirati prihvaćanjem ili odbacivanjem pojedinog projekta, ali i značajnim dodatnim troškovima u obliku poreza, naknada i drugih davanja u operativnoj fazi projekta (EC, 2021).

2. PRIMJENA METODOLOGIJE EIB-a ZA IZRAČUN UGLJIČNOG OTISKA NA PRIMJERU UPOV-a

Izračun ugljičnog otiska, a time i primjena Metodologije EIB-a uobičajeno se ne zahtijeva za sustave odvodnje (bilo mješovite ili razdjelne), kao niti za male industrijske ili komunalne UPOV-e, već samo za velike UPOV-e. Pritom u Metodologiji izostaje navod o granici malog i velikog UPOV-a pa se u praksi najčešće izračun ugljičnog otiska provodi za sve projekte koji uključuju UPOV-e.

Glavni staklenički plinovi koji se oslobađaju u atmosferu u postupcima pročišćavanja otpadnih voda su: metan (CH_4) kao posljedica razgradnje organske tvari u otpadnoj vodi u anaerobnim uvjetima, ali i zbrinjavanja mulja (odlaganjem na odlagalištima, korištenjem u poljoprivredi ili u postupcima termičke obrade), zatim ugljikov dioksid (CO_2) u najvećoj mjeri kao posljedica potrošnje električne energije u postupcima pročišćavanja te dušikov oksid (N_2O) kao međuprodukt razgradnje dušikovih komponenti u otpadnoj vodi (EIB, 2023). Prema Snip (2010) emisije koje je potrebno obuhvatiti analizom ukupnih emisija stakleničkih plinova UPOV-a obuhvaćaju: emisije CO_2 i N_2O pri biološkom pročišćavanju, odnosno endogenoj respiraciji i oksidaciji BPK te nitrifikaciji u postupku uklanjanja dušika; emisije CO_2 koje su posljedica utroška energije (za aeraciju, miješanje, crpljenje i sl.), emisije iz digestije mulja i nastanak bioplina, emisije povezane sa zbrinjavanjem mulja (uključujući i transport) te emisije povezane s korištenjem kemikalija. Preciznije kazano, na liniji vode UPOV-a organski ugljik iz otpadnih voda se ili ugrađuje u biomasu ili oksidira u CO_2 . Na liniji mulja, on se uglavnom pretvara u CO_2 i CH_4 tijekom anaerobne digestije, i konačno, metan se oksidira u CO_2 tijekom izgaranja bioplina (Campos i dr., 2016).

Metodologija EIB-a za procjenu ugljičnog otiska obuhvaća sedam stakleničkih plinova navedenih u Kyotskom protokolu uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o promjeni klime: CO_2 , CH_4 , N_2O , fluorougljikovodike (HFC-i), perfluorougljike (PFC-i), SF_6 i NCl_3 . U okviru kvantifikacije emisija sve se emisije pomoću potencijala globalnog zagrijavanja (*engl. global warming potential - GWP*) pretvaraju u tone ugljikova dioksida, odnosno ekvivalent ugljikova dioksida - CO_2e . Procjena ugljičnog otiska trebala bi biti uključena u sve faze razvojnog ciklusa projekta kako bi se promicao odabir niskougljičnih rješenja i opcija te kako bi poslužila za rangiranje i odabir opcija (među ostalim u procjeni utjecaja na okoliš i strateškoj procjeni utjecaja na okoliš).

Pratama i Setiarini (2021) su na primjeru tri UPOV-a u Japanu procijenili udjele pojedinih postupaka u procesu pročišćavanja otpadnih voda u ukupnim emisijama. Rezultati su pokazali da je komponenta obrade i zbrinjavanja mulja bila najznačajnija s udjelom u ukupnim emisijama 31,88 - 70,34 %. Emisije kao rezultat potrošnje energije su bile u rasponu 14,69 - 20,66 %, dok je tek 4,38 - 17,58 % ukupne emisije potjecalo od biološke obrade. Emisije posljedica korištenja kemikalija bile su na razini 0,05 - 29,37 %.

Emisije se primjenom Metodologije EIB-a izračunavaju na osnovi emisijskih faktora navedenih u tablici Priloga 6 - Izračun ugljičnog otiska za UPOV-e. Ova tablica uključuje najčešće korištene postupke pročišćavanja otpadnih voda u kombinaciji s metodama obrade i zbrinjavanja mulja, a vrijednosti su dobivene kao rezultat EIB-ovog alata za izračun ugljičnog otiska u vodnom sektoru. Vrijednosti su iskazane u t $\text{CO}_2\text{e}/\text{god}$, a obuhvaćaju direktne emisije (posljedica primijenjenih postupaka pročišćavanja), indirektno emisije (po-

sljedica potrošnje električne energije) te emisije koje su posljedica zbrinjavanja mulja. Izračun neizravnih emisija u tablici je napravljen korištenjem prosječnog EU faktora mreže od 245 gCO₂/kWh, koji se može dodatno prilagoditi lokaciji projekta (povećanjem ili smanjenjem ove vrijednosti) u ovisnosti o faktoru mreže pojedine zemlje. S obzirom da je faktor mreže za R. Hrvatsku određen s iznosom 247 gCO₂/kWh, što je vrlo blizu europskom prosjeku, najčešće se daljnji proračun radi pojednostavljenja provodi s već zadanim emisijskim faktorima za europski prosjek budući da bi korekcijski faktor bio približno jednak 1 (1.0082) (EIB, 2023).

Ugljični otisak nadalje se prema Metodologiji EIB-a računa primjenom jednadžbe (1):

$$CF = (CFWW + ID + CFSD) \times ES \quad (1)$$

gdje su značenja pojedinih oznaka sljedeća:

- CF - ugljični otisak projekta iskazan u tCO₂e/god
- CFWW - ukupne direktne emisije po ES na godišnjoj razini kao posljedica primijenjenog postupka pročišćavanja iskazane kao CO₂e
- ID - indirektne emisije kao posljedica potrošnje električne energije
- CFSD - emisije posljedica zbrinjavanja mulja u ovisnosti o metodi konačnog zbrinjavanja (odlagališta, korištenje na zemljištu, kompostiranje, spaljivanje i slično)
- ES - kapacitet UPOV-a u ES (ekvivalent stanovnicima).

Prikazana jednadžba (1) ne uključuje emisije stakleničkih plinova povezane s fazom izgradnje UPOV-a, već samo s operativnom fazom. Pritom se ističe da se emisije u fazi izgradnje također mogu kvantificirati primjenom Metodologije EIB-a koristeći emisijske faktore za razne građevinske strojeve, utrošak materijala i slično, što nije detaljnije razmatrano u ovom radu. Neovisno o navedenom, pri usporedbi različitih varijantnih rješenja pročišćavanja otpadnih voda i zbrinjavanja mulja, za očekivati je relativno manje razlike u emisijama tijekom faze njihove izgradnje, u odnosu na fazu korištenja. Ipak, to ne znači da su ove emisije stakleničkih plinova zanemarive, štoviše, prema nekim istraživanjima (Genzowsky i dr., 2011) ukupne emisije u fazi izgradnje UPOV-a odgovaraju 10 - 20 % ukupnih emisija UPOV-a tijekom 30 - godišnjeg operativnog vijeka.

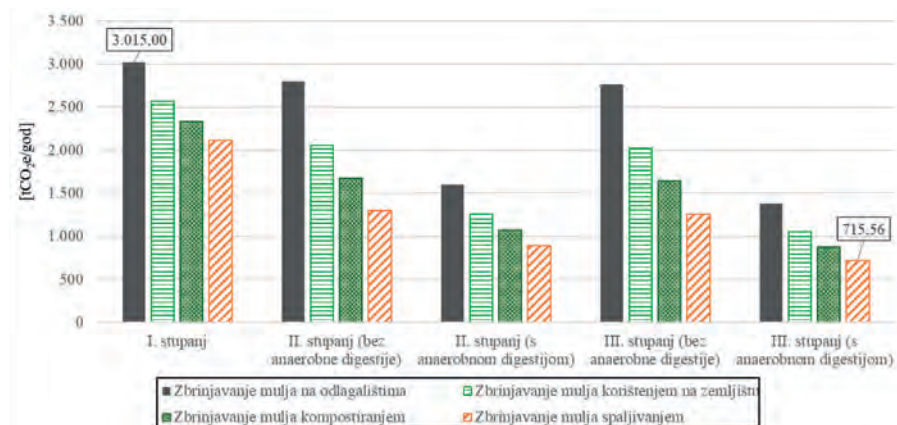
2.1. Rezultati izračuna ugljičnog otiska UPOV-a TE Vlaška

Za pokazni primjer odabran je planirani UPOV aglomeracije Labin - Raša na lokaciji nekadašnje termoelektrane (TE) Vlaška u Raši. Kao osnovni ulazni podatak korišten je kapacitet UPOV-a određen s 20.100 ES prema Studiji izvedivosti (WYG savjetovanje, 2022). Studijom je UPOV predviđen s III. stupnjem pročišćavanja, a kao potencijalno najpovoljnija varijanta zbrinjavanja mulja istaknuti su postupci termičke obrade. Neovisno o navedenom u nastavku će se primjenom metodologije EIB-a prikazati izračun ugljičnog otiska za različite stupnjeve pročišćavanja i metode zbrinjavanja mulja. Kao polazna varijanta analiziran je ugljični otisak nultog stanja u kojem se otpadne vode cjelokupne aglomeracije zbrinjavanju putem sabirnih jama (tablica 1). Jedinični faktori emisije (specifična proizvedena količina stakleničkih plinova) definirani su na osnovi Dodatka 6 (Izračun ugljičnog otiska UPOV-a) metodologije EIB-a (EIB, 2023).

Tablica 1 Ugljični otisak zbrinjavanja otpadnih voda aglomeracije Labin - Raša (20.100 ES) sabirnim jamama

	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije	Zbrinjavanje mulja - nije specificirano
Jed. faktor emisije	0,091 tCO ₂ e/ES	0,000 tCO ₂ e/ES	0,111 tCO ₂ e/ES
Emisije (tCO ₂ e/god)	1.821,10	0,00	2.231,10
Uk. emisije (tCO ₂ e/god)	4.060,20		

Iako je uvažavajući zakonsku regulativu minimalni potreban stupanj pročišćavanja predmetnog UPOV-a II. stupanj, a temeljem analiza u Studiji (WYG savjetovanje, 2022), uvažavajući lokaciju i karakteristike prijemnika pročišćenih otpadnih voda, kao potreban stupanj pročišćavanja određen III. stupanj, u nastavku će se prikazati sveobuhvatni rezultati izračuna ugljičnog otiska UPOV-a TE Vlačka za: I. stupanj pročišćavanja te II. i III. stupanj pročišćavanja s i bez anaerobne digestije. U kombinaciji s navedenim analiziran je i utjecaj metode konačnog zbrinjavanja mulja kroz četiri varijantna rješenja: odlaganje mulja na odlagalištima, korištenje mulja na zemljištu (poljoprivrednom i ne-poljoprivrednom), kompostiranje i spaljivanje/suspaljivanje (slika 1). Za svako od 20 navedenih varijantnih rješenja proveden je detaljan izračun ugljičnog otiska kao zbroj emisija uzrokovanih samim procesom pročišćavanja otpadne vode, indirektnih emisija povezanih s potrošnjom električne energije i emisija uzrokovanih zbrinjavanjem mulja, slično kao u tablici 1, a za varijantu s najmanjim dobivenim ukupnim emisijama (III. stupanj pročišćavanja s anaerobnom digestijom i uz zbrinjavanje mulja spaljivanjem/suspaljivanjem) detaljan izračun prikazan je u tablici 2. Ovi izračuni ne uključuju emisije iz transporta mulja do lokacije njegova konačnog zbrinjavanja. Za izračun ovih emisija pretpostavljen je transport mulja teškim gospodarskim vozilima nosivosti 7,5 - 16 t (HGV 7,5 - 16 t) od lokacije UPOV-a TE Vlačka do lokacije tvornice cementa Koromačno (udaljenost 20 km) gdje bi se mulj potencijalno suspaljivao.



Slika 1. Usporedni prikaz ukupnih emisija (ugličnog otiska) UPOV-a TE Vlaška u ovisnosti u primijenjenom stupnju pročišćavanja i metodi zbrinjavanja mulja

Tablica 2. Uglični otisak UPOV-a TE Vlaška uz III. stupanj pročišćavanja s anaerobnom digestijom i uz zbrinjavanje mulja spaljivanjem

	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije	Zbrinjavanje mulja - nije specificirano
Jed. faktor emisije	0,01 tCO ₂ e/ES	0,0086 tCO ₂ e/ES	0,017 tCO ₂ e/ES
Emisije (tCO ₂ e/god)	201,00	172,86	341,70
Uk. emisije (tCO ₂ e/god)	715,56		

Analizirane su dvije podvarijante, prva gdje se mulj suši do razine od oko 90 % suhe tvari (ST) na lokaciji UPOV-a i druga u kojoj se prevozi dehidrirani mulj s oko 22 % ST koji se potom suši na lokaciji tvornice cementa Koromačno. U prvoj varijanti godišnja količina mulja koju je potrebno prevesti iznosi 489,1 t, a u drugoj 2.001 t. Uz jedinični faktor emisije za definirani tip kamiona od 178 gCO₂e/t·km, dodatne emisije uslijed transporta mulja iznose 1,74 tCO₂e/god u prvoj, odnosno 7,12 tCO₂e/god u drugoj varijanti. Iako su ove emisije gotovo zanemarive u odnosu na prethodno izračunate emisije koje su posljedica pročišćavanja otpadnih voda i zbrinjavanja mulja, ipak ukazuju na određenu prednost rješenja sa sušenjem mulja na lokaciji UPOV-a, a što je neupitno i ekonomski isplativije rješenje, a zasigurno i ono koje se već intuitivno nameće kao povoljnije, kako u odnosu na ekonomske, tako i u odnosu na okolišne kriterije. Ovime je ukupna vrijednost ugličnog otiska UPOV-a TE Vlaška u okolišno najprihvatljivijoj varijanti 717,30 tCO₂e/god (715,56 + 1,74).

ZAKLJUČAK

Metodologija EIB-a za procjenu ugljičnog otiska (kvantifikaciju emisija stakleničkih plinova) sastavni je dio postupaka procjene utjecaja zahvata na okoliš, kao i ocjene o potrebi procjene utjecaja na okoliš. Ugljični otisak UPOV-a TE Vlaška (20.100 ES) u okolišno najprihvatljivijoj varijanti (III. stupanj pročišćavanja s anaerobnom stabilizacijom i zbrinjavanjem mulja postupkom suspaljivanja u tvornici cementa Koromačno) određen je s iznosom 717,30 tCO₂e/god. Provedenim analizama na pokaznom primjeru UPOV-a dolazi se do sljedećih zaključaka:

- zbrinjavanje otpadnih voda putem sabirnih jama predstavlja okolišno najmanje prihvatljivo rješenje,
- s povećanjem stupnja pročišćavanja smanjuju se ukupne emisije (ugljični otisak) UPOV-a,
- varijante s uključenom anaerobnom digestijom mulja rezultiraju manjim ukupnim emisijama (ugljičnim otiskom) u odnosu na varijante s istim stupnjem pročišćavanja bez anaerobne digestije,
- zbrinjavanje mulja postupcima spaljivanja/suspaljivanja rezultira najnižim ugljičnim otiskom, odnosno pokazuje se kao okolišno najprihvatljivije rješenje (nasuprot uobičajenom načinu razmišljanja većine, nažalost nedovoljno informirane, javnosti),
- transport mulja, iako ne predstavlja značajnu stavku u ukupnom doprinosu ugljičnom otisku UPOV-a, potrebno je uključiti u predmetne analize s ciljem usporednog vrednovanja različitih podvarijanti (okolišno prihvatljivija rješenja su ona sa što većim stupnjem obrade mulja na lokaciji samog UPOV-a budući da rezultiraju manjim ukupnim količinama mulja koje je potom potrebno transportirati do lokacije njegova konačnog zbrinjavanja).

Pri izradi Studija izvedivosti i vrednovanju pojedinih varijantnih rješenja UPOV-a potrebno je uz uobičajene tehničko - ekonomske kriterije uključiti i okolišne pokazatelje s ciljem dobivanja optimalnih rješenja u odnosu na njihovu ukupnu održivost. Navedeno je na vrlo jednostavan način moguće provesti i prikazanom metodologijom EIB-a koja omogućuje kvantifikaciju ovih utjecaja izraženih kao ugljični otisak projekta.

LITERATURA

- [1] Campos, J.L., Valenzuela-Heredia, D., Pedrouso, A., Val del Río, A., Belmonte, M., Mosquera-Corral, A., (2016): *Greenhouse Gases Emissions from Wastewater Treatment Plants: Minimization, Treatment, and Prevention*, Journal of Chemistry, Vol 2016, Article ID 3796352, 1-12.
- [2] Cassia, R., Nocioni, M., Correa-Aragunde, N., Lamattina, L, (2018): *Climate Change and the Impact of Greenhouse Gases: CO₂ and NO*, Friends and Foes of Plant Oxidative Stress, Frontiers in Plant Science, 9, 273, 1-11.
- [3] EIB (Europska investicijska banka), (2023): *Metodologije proračuna ugljičnog otiska za projekte EIB-a*, verzija 11.3, siječanj 2023.
- [4] Europska komisija, (2021): *Tehničke smjernice za pripremu infrastrukture za klimatske promjene u razdoblju 2021.-2027.*, Službeni list Europske unije, C 373/1- C 373/92.

- [5] Genzowsky K., Rohn A., Bolle F.-W., Merkel W. (2011): Methodenentwicklung zur Bewertung von siedlungswasserwirtschaftlichen und wasserwirtschaftlichen Anlagen hinsichtlich ihres ökologischen Fußabdrucks, Bericht, Juni 2011, Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW) e.V., IWW Zentrum Wasser in Mülheim, Aachen, Müllheim
- [6] Lindsey, R., Dahlman, L., (2023): Climate Change: Global Temperature, Climate.gov, [dostupno na: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>], <pristupljeno: 30.08.2023.>
- [7] MINGOR (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja RH), (2021): *Prilagodba klimatskim promjenama*, [dostupno na: <https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/uprava-za-klimatske-aktivnosti-1879/prilagodba-klimatskim-promjenama-1965/1965>], <pristupljeno: 31.08.2023.>
- [8] Pratama, M.A., Setiarini, J., (2021): *Application of bridle model in estimating greenhouse gases emissions from three wastewater treatment plants in Fukushima Prefecture, Japan*, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 724, 012061, 1-7.
- [9] Singh, D.P., Maurya, N.S., (2016): *A Comparative Study of Various Methodologies for Estimation of Green House Gas Emission from Wastewater Treatment Systems (A Review)*, Oriental Journal of Chemistry, 32, 3, 1373-1380.
- [10] Snip, L.J.P., (2010): *Quantifying the greenhouse gas emissions of waste water treatment plants, Thesis project Systems and Control, Wageningen University, Agrotechnology and Food Sciences, Wageningen, Netherlands.*
- [11] Strategija niskouglijnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu (NN 63/2021)
- [12] Uredba o procjeni utjecaja zahvata na okoliš (NN 61/14 i 03/17)
- [13] Wang, D., Ye, W., Wu, G., Li, R., Guan, Y., Zhang, W., Wang, J., Shan, Y., Hubacek, K., (2022): *Greenhouse gas emissions from municipal wastewater treatment facilities in China from 2006 to 2019*, Scientific Data, 9, 317, 1-16
- [14] WYG savjetovanje d.o.o., (2022): Studija izvedivosti - Aglomeracija Labin-Raša-Rabac - za prijavu izgradnje vodnokomunalne infrastrukture.

AUTORI

doc. dr. sc. Domagoj Nakić ^a

Stela Babić ^a

izv. prof. dr. sc. Dražen Vouk ^a

izv. prof. dr. sc. Ivan Halkijević ^a

^a Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića - Miošića 26 (privremena adresa: Kranjčevićeva 2), Zagreb, 10000, Hrvatska, domagoj.nakic@grad.unizg.hr, (studentica) sbabic@student.grad.hr, drazen.vouk@grad.unizg.hr, ivan.halkijevic@grad.unizg.hr



R 3.14.

UTJECAJ GUSTOĆE STRUJE I PROTOKA NA UČINKOVITOST UKLANJANJA MINERALNIH ULJA

Hana Posavčić, Dražen Vouk, Ivan Halkijević, Morana Drušković

SAŽETAK: Poznato je da industrijske otpadne vode značajno utječu na cjelokupan okoliš. Iako su danas u primjeni razne tehnologije uklanjanja ulja iz vode, rijetko kojom tehnologijom je moguće ispuniti uvjete propisane zakonskom regulativom, uz istovremeno osiguranje brzog i ekonomski isplativog postupka. Među već poznatim tehnologijama, svoje mjesto su našli elektrokemijski i ultrazvučni postupci. Stoga je cilj ovog rada odrediti utjecaj gustoće struje, protoka, broja ciklusa i materijala elektroda na učinkovitost uklanjanja mineralnih ulja iz zauljenih otpadnih voda. Ovim radom se pokazalo da se protočnim ultrazvučnim i elektrokoagulacijskim postupkom mineralna ulja mogu uspješno ukloniti u relativno kratkom vremenu (oko 5 minuta). Najveća učinkovitost uklanjanja mineralnih ulja iznosila je 95 % te je ostvarena primjenom željeznih elektroda uz gustoću struje od 120 A/m², protok od 0.4 l/s i 11,5 ciklusa. Dodatan doprinos ovom radu je ispitivanje parametra protoka kojim se pokazalo da niže vrijednosti protoka ne osiguravaju dovoljno miješanje flokula, odnosno ulje i koagulant se ne spajaju dovoljno brzo da bi se postigla veća učinkovitost postupka. S druge strane, veće vrijednosti protoka izazivaju turbulencije zbog kojih dolazi do raspada generiranih flokula.

KLJUČNE RIJEČI: Elektrokoagulacija, Gustoća struje, Mineralna ulja, Odzivna površina, Protok, Ultrazvuk

THE INFLUENCE OF CURRENT DENSITY AND FLOW ON MINERAL OIL REMOVAL EFFICIENCY

ABSTRACT: It is a well-known fact that industrial wastewater significantly affects the whole environment. Although various technologies are used today for the removal oil from water, it is rarely possible to meet the requirements prescribed by the legislation while simultaneously ensuring a fast and economically viable process. Among the already known technologies, electrochemical and ultrasonic methods have found their place. Therefore, the aim of this work is to determine the influence of current density, flow rate, number of cycles and electrode material on the efficiency of mineral oil removal from oily wastewater. The paper shows that mineral oils can be successfully removed in a relatively short time (about 5 minutes) using flow, ultrasonic and electrocoagulation processes. The highest efficiency of mineral oil removal was 95 % and was achieved us-

ing iron electrodes at a current density of 120 A/m², a flow rate of 0,4 l/s, and 11,5 cycles. An additional contribution was the testing of flow parameters, which showed that lower flow values do not ensure sufficient mixing of flocs, i.e. oil and coagulant do not combine fast enough to achieve a higher efficiency of the process. On the other hand, higher flow values cause turbulences, which results in a disintegration of generated flocs.

KEYWORDS: Electrocoagulation, Current density, Mineral oils, Response surface, Flow rate, Ultrasonic

1. UVOD

Zauljene otpadne vode najčešće su industrijskog porijekla, a karakteriziraju ih specifični onečišćivači kao što su ulja, masti, vosak, ugljikovodici i slično. (Hui i dr., 2014, Jamaly i dr., 2015). Iako su danas u primjeni razne tehnologije uklanjanja ulja iz vode, najčešće kemijske i mehaničke metode, rijetko kojom poznatom tehnologijom je moguće ispuniti uvjete propisane zakonskom regulativom, uz istovremeno osiguranje brzog i ekonomski isplativog postupka (Hui i dr., 2014).

Pregledom postojeće literature uočeno je da izostaje veći broj istraživanja vezanih uz tretman zauljenih otpadnih voda elektrokoagulacijskim (EK) i ultrazvučnim (UZ) postupkom. Tako se većina ispitivanja odnosi na zasebnu primjenu svakog od ovih procesa (Abdel - Salam i dr., 2018, Bian i dr., 2019, Fadali i dr., 2016) te njihovu kombinaciju s drugim postupcima (Hui i dr. 2014, Rocha i dr., 2009), a tek nekolicina na njihovu međusobnu kombinaciju (sono - elektrokoagulacija (sono - EK)), većinom uz primjenu šaržnih reaktora malog volumena (Al - Rubaiey i Al - Barazanji, 2018, Maha Lakshmi i Sivashanmugam 2013; Moradi i dr., 2021, Posavcic i dr., 2021). Rezultate prezentirane u navedenim radovima je teško usporediti jer su ispitivanja provedena pod različitim uvjetima (primjerice različite gustoće struje, različiti volumeni, različito porijeklo otpadnih voda i drugo).

Cilj ovog rada je odrediti utjecaj glavnih operativnih parametara na učinkovitost uklanjanja mineralnih ulja iz zauljenih otpadnih voda. Analizirani operativni parametri uključuju gustoću struje, protok, broj ciklusa i materijal elektroda.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Karakteristike otpadne vode

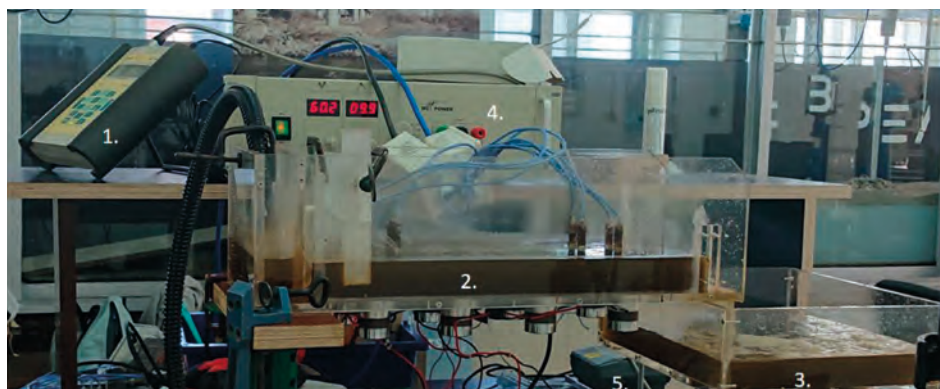
Zauljena otpadna voda je prikupljena iz separatora ulja i masti u funkciji odvodnje oborinskih voda te su njene osnovne karakteristike navedene u tablici 1. pH, temperatura i vodljivost su ispitane korištenjem multimetra HI-98194 Multiparameter Waterproof Meter (Hanna Instruments, Rumunjska), dok su koncentracije mineralnih ulja analizirane pomoću plinskog kromatografa NEXIS GC-2030 (Shimadzu, Japan).

Tablica 1. Karakteristike zauljene otpadne vode

Parametar	
pH	7.7
Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	655
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	21.9
Koncentracija mineralnih ulja (mg/l)	883

2.2. Eksperimentalno ispitivanje

Sono - elektrokoagulacijski uređaj je prikazan na slici 1. U svakom je ispitivanju korišteno 8 l zauljene otpadne vode koja je pomoću pumpe Stuart Turner Ltd pump (Ujedinjeno Kraljevstvo) kružila kroz uređaj čime se simulirao kontinuirani protok. Protok je mjereno mjeračem protoka Flexus F601 (Flexim, Njemačka). U sono-elektrokoagulacijski reaktor su smještene četiri elektrode na razmaku od 5 mm. Korištene su željezne i aluminijske elektrode, a spojene su na napajanje MC Power LBN 1990 (Njemačka). Ukupna površina elektroda je 0,08 m². S donje strane reaktora je pričvršćeno osam ultrazvučnih pretvarača ukupne snage 480 W.



Slika 1. Postavka uređaja: 1. mjerač protoka; 2. sono - elektrokoagulacijski reaktor; taložnik; 4. napajanje; 5. pumpa

U eksperimentalnom dijelu su analizirani sljedeći parametri: gustoća struje, protok, broj ciklusa i materijal elektroda. Preliminarnim ispitivanjima (Posavčić, 2022.) su određeni rubni uvjeti prikazani u tablici 2. te je ukupno izvedeno 36 eksperimenata. Eksperimenti su uključivali različite kombinacije vrijednosti navedenih parametara, a analiza rezultata je napravljena u programu Design - Expert (Stat Ease). Vrijeme zadržavanja vode u reaktoru je izraženo kroz parametar broj ciklusa. Jedan ciklus predstavlja vrijeme koje je potrebno da volumen otpadne vode (8 l) prođe jednom kroz uređaj pri određenom protoku. Kako se vrijeme zadržavanja vode u reaktoru mijenja ovisno o promjeni protoka, radi jednostavnosti ga je odlučeno pratiti kroz broj ciklusa. Tako je primjerice potrebno 19 sekundi da cjelokupan volumen jednom prođe kroz reaktor pri protoku od 0,43 l/s,

odnosno 11,5 ciklusa je ekvivalentno trajanju tretmana od 3 minute i 39 sekundi pri istom protoku.

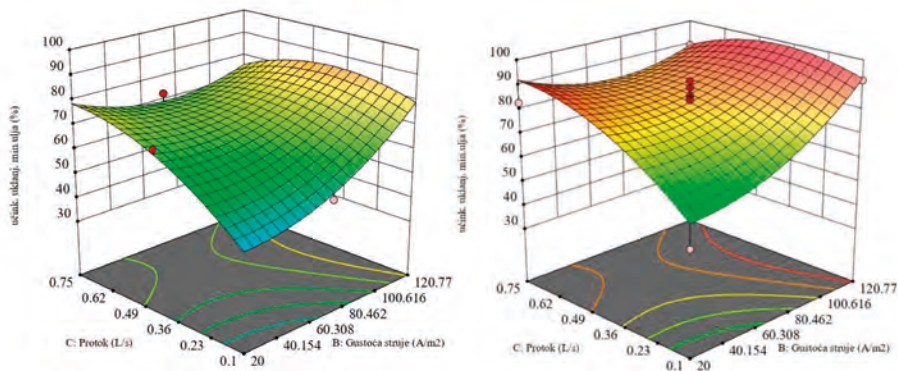
Tablica 2. Analizirani parametri

	Minimalna	Srednja	Maksimalna
Gustoća struje (A/m ²)	20	70	120
Protok (l/s)	0,1	0,43	0,75
Broj ciklusa (1)	3		11.5
Materijal elektroda	Željezo		Aluminij

3. ANALIZA REZULTATA

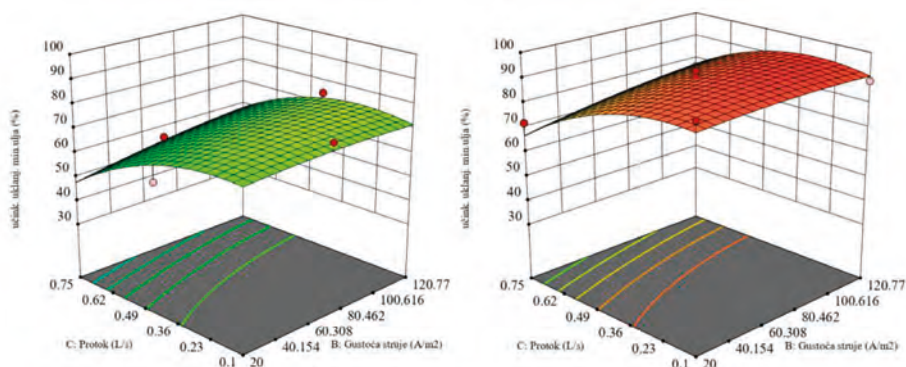
Kombinacijom ultrazvuka i željeznih elektroda veća učinkovitost uklanjanja mineralnih ulja se postigla pri srednjim i većim protocima uz duže trajanje tretmana, slika 2. desno. Tijekom sono - EK formirali su se visoko reaktivni ·OH radikali koji su penetrirali u otpadnu vodu i oksidirali topive organske spojeve, odnosno ulje (Doosti i ostali 2012). Veći protoci su potaknuli prijenos ·OH radikala i tako povećali oksidaciju mineralnih ulja, što je u kombinaciji s dužim trajanjem tretmana (11,5 ciklusa) pozitivno utjecalo na učinkovitost postupka.

Idealna odzivna površina trebala bi jasno definirati parametre uz koje se postiže najveća učinkovitost te bi trebala imati konveksan oblik. Na slici 2. se vidi da odzivna površina nije idealna jer se ne može sa sigurnošću odrediti točan iznos protoka i gustoće struje s kojima se postiže najveća učinkovitost. Stoga bi se gustoća struje trebala povećati, što uz dostupno napajanje nije bilo moguće. Bez obzira što odzivna površina nije idealnog oblika, uočava se trend povećanja učinkovitosti uklanjanja mineralnih ulja uz primjenu većih gustoća struje. Najveća učinkovitost uklanjanja mineralnih ulja iznosila je 95 % te je ostvarena uz gustoću struje od 120 A/m², srednji protok od 0.4 l/s i 11,5 ciklusa, odnosno uz ukupno trajanje tretmana od 4 minute i 20 sekundi.



Slika 2. 3D odzivna površina utjecaja protoka i gustoće struje na učinkovitost uklanjanja mineralnih ulja (željezne elektrode; N=3 (lijevo) i 11,5 (desno))

S druge strane, prilikom korištenja aluminijskih elektroda (slika 3.), utjecaj protoka ima veći utjecaj na učinkovitost uklanjanja mineralnih ulja negoli promjena gustoće struje. U ovom su slučaju turbulentniji protok i UZ kavitacija uzrokovali destabilizaciju manjeg broja formiranih hidroksida, odnosno kidanje veza između mineralnih ulja i koagulanata (Abdel-Salam i ostali 2018). U ovom, kao i u prethodnom slučaju (slika 2.), odzivna površina nije idealna, ali se jasno vidi da je najveća učinkovitost uklanjanja mineralnih ulja iznosila 90 %, uz protoke od 0,3 l/s i manje, neovisno o gustoći struje. Sama površina i trend su jasnije definirani s aluminijskim negoli sa željeznim elektrodama jer su ioni aluminijski zbog svog oksidacijskog stanja stabilniji od iona željeza, odnosno željezo s manjim stupnjem predvidivosti reagira na promjene u sustavu. Kao i uz primjenu željeznih elektroda, i u ovom je slučaju učinkovitost uklanjanja mineralnih ulja veća uz duže trajanje tretmana, odnosno uz veći broj ciklusa.



Slika 3. 3D odzivna površina utjecaja protoka i gustoće struje na učinkovitost uklanjanja mineralnih ulja (aluminijske elektrode; $N=3$ (lijevo) i $11,5$ (desno))

ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je bio odrediti utjecaj glavnih operativnih parametara na učinkovitost uklanjanja mineralnih ulja iz zauljenih otpadnih voda. Navedeno je ostvareno ispitivanjem 36 različitih kombinacija gustoće struje, protoka, broja ciklusa i materijala elektroda.

Ovim radom se pokazalo da se protočnim ultrazvučnim i elektrokoagulacijskim uređajem u manje od 5 minuta može ukloniti više od 95 % mineralnih ulja.

Parametar koji donosi dodatnu vrijednost ovome radu je protok koji se rijetko ispitivao u dosadašnjim istraživanjima. Općenito, miješanje pozitivno pridonosi elektrokoagulaciji jer omogućava brži prijenos iona metala u vodi zbog čega se reakcije brže odvijaju. S druge strane, prevelike turbulencije koje se mogu javiti pri većim protocima ponekad mogu dovesti do raspada flokula.

Zaključno, većina dosadašnjih ispitivanja je provedena na šaržnim uređajima, međutim ukoliko se u budućnosti razmišlja o implementiranju elektrokemijskih i ultrazvučnih postupaka kao jedne od faza stupnjeva pročišćavanja konvencionalnih uređaja, potrebno je istraživanje usmjeriti u razvoj protočnih elektrokemijskih uređaja većih kapaciteta.

ZAHVALA

Ovaj je rad financirala Hrvatska zaklada za znanost u okviru projekta „IP-2019-04-1169 - Zbrinjavanje pročišćenih zauljenih otpadnih voda i mulja s UPOV-a u opekerskoj industriji - proizvodnja novog opekerskog proizvoda u okviru kružne ekonomije”.

LITERATURA

- [1] Abdel-Salam, Omar E., Enas M. Abou Taleb, i Ahmed A. Afify (2018) Electrochemical treatment of chemical oxygen demand in produced water using flow - by porous graphite electrode, *Water and Environment Journal*, 32(3), 404-11.
- [2] Al-Rubaiey, N. A., Al - Barazanji, M. G. (2018): Ultrasonic Technique in Treating Wastewater by Electrocoagulation. *Engineering and Technology Journal*, 36(1), 54-62.
- [3] Bian, Y., Ge, Z., Albano, C., Leite Lobo, F., Ren, Z.Y. (2019): Oily bilge water treatment using DC/AC powered electrocoagulation. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 5(10), 1.654-1.660.
- [4] Doosti, M. R., R. Kargar, i M. H. Sayadi (2012): Water treatment using ultrasonic assistance : A review, *Ecology* 2(2), 96-110.
- [5] Fadali, O. A., Ebrahiem, E. E., El - Gamil, A., Altaher, H. (2016): Investigation of the electrocoagulation treatment technique for the separation of oil from wastewater. *Journal of Environmental Science and Technology*, 9(1), 62-74
- [6] Hui, L.; Yan, W.; Juan, W.; Zhongming.; L. A. (2014): Review. Recent Advances in Oily Wastewater Treatment. *Recent Innov. Chem. Eng.* 7, 17-24.
- [7] Jamaly, S., Giwa, A., Hasan, S. W. (2015): Recent Improvements in Oily Wastewater Treatment: Progress, Challenges, and Future Opportunities. *J. Environ. Sci. (China)*, 37, 15-30.
- [8] Maha Lakshmi, P., Sivashanmugam, P. (2013): Treatment of oil tanning effluent by electrocoagulation: Influence of ultrasound and hybrid electrode on COD removal. *Separation and Purification Technology*, 116, 378-384.
- [9] Moradi, M., Vasseghian, Y., Arabzade, H., Khaneghah., A. M., (2021): Various wastewaters treatment by sono - electrocoagulation process: A comprehensive review of operational parameters and future outlook. *Chemosphere* 263:128314
- [10] Posavčić, H., Halkijević, I., Vouk, D. (2021): Oily wastewater treatment by hybrid ultrasound and electrocoagulation batch process, *Desalination and Water Treatment*, 235, 1-8
- [11] Posavčić, H. (2022): Razvoj protočnog hibridnog ultrazvučnog i elektrokoagulacijskog postupka za pročišćavanje zauljenih otpadnih voda mineralnog porijekla, Zagreb, doktorski rad
- [12] Rocha, I. C. C., Marques, J. J., Silva, A. S., (2009): Effects of ultrasound on the performance improvement of wastewater microfiltration through a porous ceramic filter. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 26(4), 641-648.

AUTORI

dr. sc. Hana Posavčić ^a

izv. prof. dr. sc. Dražen Vouk ^a

izv. prof. dr. sc. Ivan Halkijević ^a

Morana Drušković ^b

^a Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26 (privremena adresa: Kranjčevićeva 2), Zagreb, 10000, Hrvatska, hana.posavcic@grad.unizg.hr, drazen.vouk@grad.unizg.hr, ivan.halkijevic@grad.unizg.hr

^b DOK - ING ENERGO d.o.o., Slavenska avenija 22 G, Zagreb, 10000, Hrvatska, morana.druskovic@gmail.com



R 3.15.

KOMUNALNI BILJNI UREĐAJI ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA PREMA DWA-A 262

Davor Stanković, Danijela Jelić, Emir Mešić

SAŽETAK: Glavne karakteristike biljnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda jesu jednostavno konstruktivno oblikovanje, jednostavan pogon, mala proizvodnja biomase odnosno sekundarnog mulja, mala potrošnja vanjske energije te visoki učinak pročišćavanja i kod malih kapaciteta uređaja.

Radni list DWA-A 262 od studenog 2017. godine je norma koju izdaje Njemačka udruga za vodoprivredu, otpadne vode i otpad (DWA). Ova norma daje osnovu za dimenzioniranje, izgradnju i pogon biljnih uređaja za biološku obradu komunalnih otpadnih voda.

U radu daju se osnovne informacije o uobičajenim postupcima prethodne obrade i glavne obrade na komunalnim biljnim uređajima. Navedeni su problemi kod većih kapaciteta uređaja kao što su daljnja obrada odnosno zbrinjavanje mulja nastalog u prethodnoj obradi te osiguranje jednolike distribucije otpadne vode po filterima kao i moguće mjere za ublažavanje navedenih problema.

KLJUČNE RIJEČI: Komunalni biljni uređaji, DWA-A 262, Prethodna obrada, Glavna obrada, Filtar sirove otpadne vode, Vertikalni filter

CONSTRUCTED WETLANDS MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS ACCORDING TO DWA-A 262

ABSTRACT: The main characteristics of constructed wetlands for wastewater treatment are simple design, simple operation, low production of biomass or secondary sludge, low consumption of external energy, and high purification performance, even with low capacity plants.

Worksheet DWA 262 from November 2017 is a standard issued by the German Association for Water, Wastewater and Waste Management (DWA). This standard provides the basis for dimensioning, construction and operation of constructed wetlands for biological treatment of municipal wastewater.

The paper provides basic information on common pretreatment and main treatment procedures for municipal constructed wetlands. Problems with larger capacities of the plant, such as further processing or disposal of the sludge created in the pretreatment stage and ensuring uniform distribution of wastewater on the filters, as well as possible measures to mitigate the mentioned problems, are listed.

KEYWORDS: Constructed wetlands municipal wastewater treatment plants, DWA-A 262, Pretreatment, Main treatment, Raw wastewater filter, Vertical filter

1. UVOD

Općenito se pod biljnim uređajima podrazumijevaju svi uređaji za pročišćavanje otpadnih voda kod kojih biljke imaju određenu ulogu. Biljni uređaji mogu biti različitih oblika, konstrukcija odnosno karakteristika, te se mogu i klasificirati prema različitim kriterijima. U Europi, kao i u Hrvatskoj, pretežito se primjenjuju biljni uređaji s potpovršinskim tokom. Osnovni elementi takvog biljnog uređaja su plitki spremnici ispunjeni određenim filtarskim materijalom (najčešće pijesak ili sitni šljunak), na čijoj su površini posađene močvarne biljke. Otpadna voda ulazi u spremnik i teče kroz filtarski materijal ispod njegove površine. Ovisno o smjeru tečenja razlikuje se vertikalni i horizontalni tok. Potpovršinskim tečenjem se se prvenstveno izbjegavaju problemi s emisijama neugodnih mirisa i komarcima.

Do sada je u Republici Hrvatskoj izgrađeno odnosno u pogonu oko desetak komunalnih biljnih uređaja (primjerice Vinogradi, Lukač, Kaštelir, Prud, Vrlika, Gruda i drugi). U Hrvatskoj ne postoji norma ili druga tehnička pravila koji bi regulirali oblikovanje i dimenzioniranje biljnih uređaja. Stoga se u praksi najčešće koriste upute i standardi drugih zemalja ili patentirane tehnologije.

U domeni pročišćavanja otpadnih voda u Hrvatskoj veliki ugled uživaju standardi koje objavljuje DWA (Njemačka udruga za vodoprivredu, otpadnu vodu i otpad), nekadašnji ATV. Prve upute za dimenzioniranje i oblikovanje biljnih uređaja bile su objavljene 1989. godine [1]. Prvi standard objavljen je 1998. godine [2]. Godine 2006. objavljen je revidirani standard [3]. Od kraja 2017. godine na snazi je treća inačica standarda [4], koja je u odnosu na ranije znatno proširena, između ostalog i u pogledu primjene na komunalne uređaje za pročišćavanje otpadnih voda.

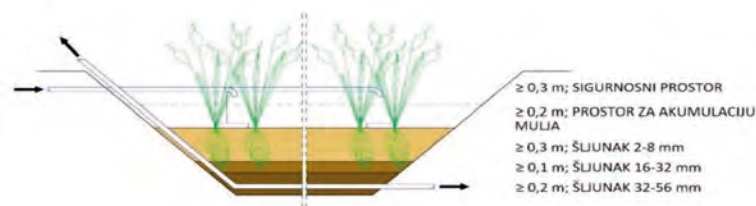
Kako se u budućnosti može očekivati obveza izgradnje sustava prikupljanja i sekundarne obrade otpadnih voda za aglomeracije veće od 1.000 ES [5], za očekivati je da će porasti i potreba za daljnju primjenu biljnih uređaja u Hrvatskoj. Naime, u praksi se pokazalo da biljni uređaji mogu zadovoljiti zahtjeve koji se prema hrvatskoj regulativi postavljaju na uređaje drugog stupnja pročišćavanja otpadnih voda.

Područje primjene DWA-A 262, između ostalog, obuhvaća zasađene i nezasađene filtre za komunalne uređaje za pročišćavanje u razdjelnim i mješovitim sustavima kanalizacije. Standardom su dane upute za dimenzioniranje, izgradnju i pogon biljnih uređaja. Kod toga osnove dimenzioniranja vrijede za srednjeeuropske klimatske uvjete s toplim ljetima i hladnim zimama bez trajnog smrzavanja tla. Jedino su područja gdje je tlo trajno smrznuto (permafrost) načelno nepodobna za primjenu filtara. Može se pretpostaviti da je primjena navedenog standarda opravdana i na području Republike Hrvatske. Stoga se u nastavku daju osnovne informacije o uobičajenim postupcima prethodne i glavne obrade na komunalnim biljnim uređajima, poglavito u razdjelnim sustavima kanalizacije. Također će posebno biti istaknuti i neki od glavnih problema koji se mogu pojaviti prilikom projektiranja i pogona uređaja većih kapaciteta: obrada odnosno zbrinjavanje mulja nastalog u prethodnoj obradi te osiguranje jednolike distribucije otpadne vode po filterima.

2. PRETHODNA OBRADA

Standard navodi da je kod većih komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda potrebno razmotriti primjenu automatske rešetke/sita i po potrebi pjeskolova. Općenito je potrebno osigurati sigurno uklanjanje taloživih tvari tijekom hidrauličkog vršnog opterećenja. Pored toga treba nastojati postići ujednačenje vršnog opterećenja. Vezano za komunalne uređaje za pročišćavanje, standard predviđa mogućnost primjene sljedećih osnovnih elemenata prethodne obrade: višekomorne taložne jame (septičke jame), taložne lagune, Emšerovi spremnici (Imhoffovi taložnici), filtri sirove otpadne vode te aerirane prethodne lagune.

Na izgrađenim komunalnim biljnim uređajima u Republici Hrvatskoj do sada su isključivo primjenjivane višekomorne taložne jame (npr. Gruda) i Imhoffovi taložnici (npr. Kaštelir). Ostali načini odnosno građevine prethodne obrade do sada nisu primjenjivani. Međutim, pretpostavlja se da bi primjena filtara sirove otpadne vode mogla biti zanimljiva i u Hrvatskoj, posebno u kontekstu biljnih uređaja većih kapaciteta, obzirom da je u njima integrirana funkcija "ozemljavanja" primarnog mulja. Filtri sirove otpadne vode su ustvari vertikalni filtri na koje se distribuira sirova otpadna voda. Ukupnu filtarsku površinu potrebno je podijeliti na najmanje 3 (ili cjelobrojni višekratnik broja 3) jednake i površinski međusobno odijeljene parcijalne površine. Distribucija otpadne vode se periodički vrši na jedan filtar dok preostala dva filtra miruju. Na slici 1 dan je shematski prikaz filtra sirove otpadne vode. Filtri sirove otpadne vode se u pravilu koriste u kombinaciji s glavnom obradom na vertikalnim filterima s grubim pijeskom 0 mm do 4 mm (tzv. „francuski sistem“).



Slika 1. Shematski prikaz filtra sirove otpadne vode [4]

3. GLAVNA OBRADA

Aktualni standard DWA-A 262 za osnovni element biljnog uređaja koristi termin filtar odnosno filtri. Standard filtre definira kao spremnike koji su u pravilu ispunjeni pjeskovito-šljunkovitim filtarskim materijalom. Namjena filtara je biološko pročišćavanje prethodno obrađene otpadne vode, koja struji kroz filtar, kod čega strujanje može biti horizontalno ili vertikalno. Vrlo je važno da otpadna voda mora biti prethodno obrađena, tj. iz nje moraju biti uklonjene grube i plivajuće tvari te mora biti istaložena. Filtri su u pravilu zasađeni močvarnim biljkama (helofitima). Pročišćavanje otpadnih voda provodi se kombinacijom fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa koji su rezultat zajedničkog djelovanja filtarskog materijala, močvarnih biljaka, mikroorganizama, zraka u porama i otpadne vode. Biološki procesi pročišćavanja u bitnome se zasnivaju na metabolizmu mikroorganizama naseljenih u biofilmu na filtarskom materijalu kao i korijenu biljaka. U

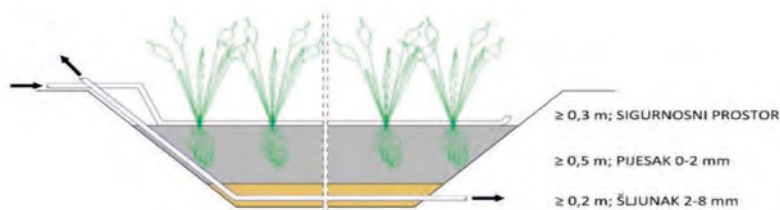
filtrima se akumulira mulj koji se sastoji od stvorene biomase i akumuliranih organskih i anorganskih tvari u otpadnoj vodi.

Prema aktualnom Radnom listu DWA-A 262, za glavnu biološku obradu otpadnih voda se u pravilu koriste vertikalni filtri. Konvencionalni horizontalni filtri kod komunalnih uređaja primjenjuju su samo u kontekstu naknadne obrade.

U nastavku se daju najosnovnije informacije o tipovima filtara koji se mogu koristiti za glavnu obradu na komunalnim uređajima za pročišćavanje i za koje se pretpostavlja da bi mogli biti primjenljivi u Hrvatskoj. Navode se samo najosnovniji podaci za dimenzioniranje. Napominje se da sam standard navodi niz drugih parametara, kojih se je potrebno pridržavati prilikom dimenzioniranja filtara.

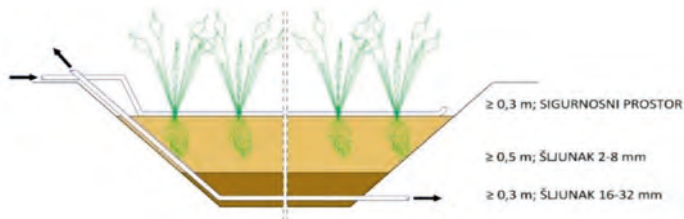
Pojedini filtri međusobno se razlikuju u odnosu na granulaciju pjeskovito-šljunkovitog materijala koji se u njih ugrađuje. Zajednička karakteristika praktički svih vertikalnih filtara je da se otpadna voda na filtre distribuira u obrocima, odnosno intermitentno. Svrha takvog načina distribucije je osiguranje dovoljnog vremena za potpuno pražnjenje filtra, sve kako bi se mogli uspostaviti aerobni odnosi u filtrima i biološka razgradnja tvari iz otpadne vode adsorbirane na filtarskom materijalu. Također je izuzetno važno da distribucija bude jednolika po cijeloj površini filtara.

Vertikalni filtri s pijeskom 0 mm do 2 mm - Specifična površina pri vrhu filtara treba iznositi $\geq 4 \text{ m}^2/\text{stanovniku}$, uz uvjet da površina filtara po otvoru na distribucijskoj cijevi bude $\leq 5 \text{ m}^2/\text{otvoru}$. U slučaju gušćeg rasporeda otvora moguće je određeno smanjenje specifične površine. Površina filtara treba biti podijeljena na najmanje dvije, bolje četiri parcijalne površine jednake veličine, sve kako bi jedna parcijalna površina periodički mirovala. Načelni prikaz vertikalnog filtra s pijeskom 0 mm do 2 mm s naznakom najvažnijih dimenzija dan je na slici 2.

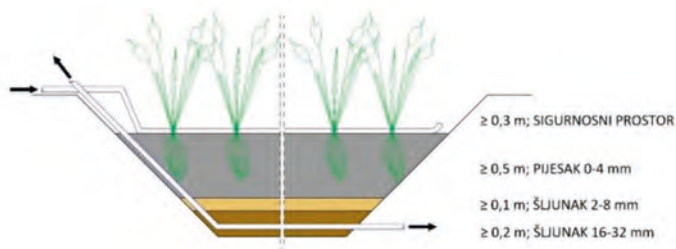


Slika 2. Načelni prikaz vertikalnog filtra s pijeskom 0 mm do 2 mm [4]

Dvostupanjski vertikalni filtri s finim šljunkom 2 mm do 8 mm i grubim pijeskom 0 mm do 4 mm - Površina filtara svakog stupnja treba biti podijeljena u najmanje dvije parcijalne površine jednake veličine. Specifična površina filtara prvog stupnja, kao i specifična površina filtara drugog stupnja trebaju biti $\geq 1 \text{ m}^2/\text{ES}$. Načelni prikaz vertikalnog filtra s finim šljunkom 2 mm do 8 mm i grubim pijeskom 0 mm do 4 mm s naznakom najvažnijih dimenzija dani su na slikama 3 odnosno 4.

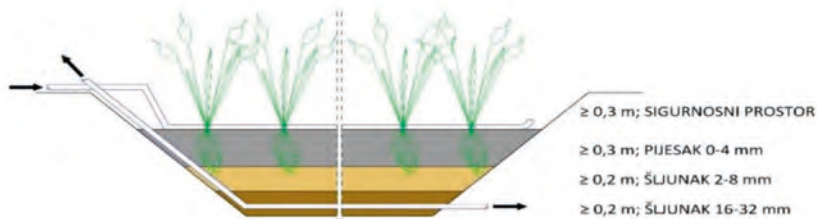


Slika 3. Načelni prikaz vertikalnog filtra s finim šljunkom 2 mm do 8 mm [4]



Slika 4. Načelni prikaz vertikalnog filtra s grubim pijeskom 0 mm do 4 mm [4]

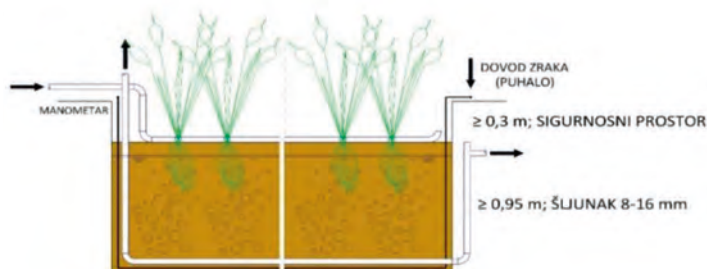
Vertikalni filtri s grubim pijeskom 0 mm do 4 mm - Ovaj tip filtera koristi se kao glavni biološki stupanj pročišćavanja nakon prethodne obrade na filteru otpadne vode (tzv. „francuski sistem“). Površina filtera treba biti podijeljena u dvije parcijalne površine odnosno u broj površina koji je višekratnik broja dva. Jedna parcijalna površina se nalazi su fazi mirovanja. Faza mirovanja treba trajati minimalno tri dana. Specifična površina ovog filtera, uz uvjet prethodne obrade na filteru sirove otpadne vode, u razdjelnom sustavu treba biti $\geq 0,8 \text{ m}^2/\text{ES}$). Načelni prikaz vertikalnog filtra s grubim pijeskom 0 mm do 4 mm s naznakom najvažnijih dimenzija dan je na slici 5.



Slika 5. Načelni prikaz vertikalnog filtra s grubim pijeskom 0 mm do 4 mm [4]

Aktivno aerirani vertikalni filtri sa šljunkom 8 mm do 16 mm - Za razliku od prethodnih tipova filtara, u ovom se tipu filtera održava stalna razina vode. Učinak pročišćavanja osigurava se umjetnim dovodom kisika (zraka), uz uporabu puhala. Radni list ne postavlja posebne zahtjeve u pogledu broja filtara. Uređaji za aeraciju trebaju biti tako dimenzionirani da bude osigurana homogena raspodjela unešenog zraka po cijelom filterarskom tijelu. Specifična površina filtera treba biti $\geq 1 \text{ m}^2/\text{ES}$. Načelni prikaz aktivno aeriranog

vertikalnog filtra sa šljunkom 8 mm do 16 mm s naznakom najvažnijih dimenzija dan je na slici 6. Ovaj tip filtera do sada nije korišten u Hrvatskoj, no obzirom na relativno malu potrebnu površinu mogao bi biti zanimljiv, posebno za uređaje većih kapaciteta.



Slika 6. Načelni prikaz aktivno aeriranog vertikalnog filtra sa šljunkom 8 mm do 16 mm [4]

4. BILJNI UREĐAJI VEĆIH KAPACITETA

Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda prema radnom listu DWA-A 262 prvenstveno su namijenjeni za ispunjavanje zahtjeva za kakvoćom efluenta u skladu s tzv. klasom veličine 1 prema njemačkoj regulativi o otpadnim vodama (AbwV 2004), tj. za manje od 1000 ES. Međutim, nije isključena primjena zasadenih filtera za više od 1000 ES. Kod većih kapaciteta uređaja, osim što zauzimaju veću površinu zemljišta, složenijim postaje daljnja obrada odnosno zbrinjavanje mulja iz prethodne obrade, te osiguranje potrebne jednolike distribucije otpadne vode po poljima.

Prethodna obrada - Poglavitna funkcija građevina za prethodnu obradu je uklanjanje primarnog mulja iz otpadne vode. Shodno tome je tijekom pogona nužno periodičko vađenje i po potrebi daljnja obrada odnosno zbrinjavanje tog mulja.

Obično se mulj vadi odnosno uklanja po potrebi, tj. kada je prostor koji je bio namijenjen za sakupljanje mulja zauzet. Kod taložnih laguna, osim po potrebi, mulj treba uklanjati minimalno jednom godišnje.

S izuzetkom mulja iz filtera sirove otpadne vode, mulj koji se uklanja iz ostalih građevina prethodne obrade je samo ugušćen, te ga je prije konačnog zbrinjavanja potrebno barem dehidrirati. Kod manjih biljnih uređaja, mulj iz višekomornih taložnih jama, Emšerovih taložnika, te taložnih laguna uobičajeno je odvoziti na daljnju obradu na najbliži veći uređaj za pročišćavanje, koji posjeduje odgovarajuću liniju obrade mulja. Međutim, kod većih kapaciteta uređaja, količine mulja kojeg je jednokratno potrebno zbrinuti postaju značajne te mogu predstavljati logistički problem. Taj je problem kod Emšerovih taložnika nešto manje izražen, obzirom da je vremenski interval između potrebe vađenja mulja kraći nego li kod višekomornih taložnih jama, odnosno taložnih laguna, pa su i količine manje.

Kod aeriranih prethodnih laguna vremenski interval između potrebe vađenja mulja iznosi nekoliko godina. Količine mulja, uz pretpostavku jednokratnog zbrinjavanja, često opravdavaju dovoz mobilnog uređaja za dehidraciju na lokaciju uređaja radi provođenja dehidracije i kasnijeg odvoza i zbrinjavanja dehidriranog mulja.

U kontekstu problematike zbrinjavanja mulja iz prethodne obrade vrlo povoljnim se čine filtri sirove otpadne vode. Vremenski interval između potreba vađenja mulja iznosi 10 i više godina, a mulj, osim što je stabiliziran, praktički je i dehidriran.

Za prethodno opisani problem obrade i u nastavku zbrinjavanja relativno velikih količina tekućeg ugušćenog mulja, moguća su, sljedeća rješenja:

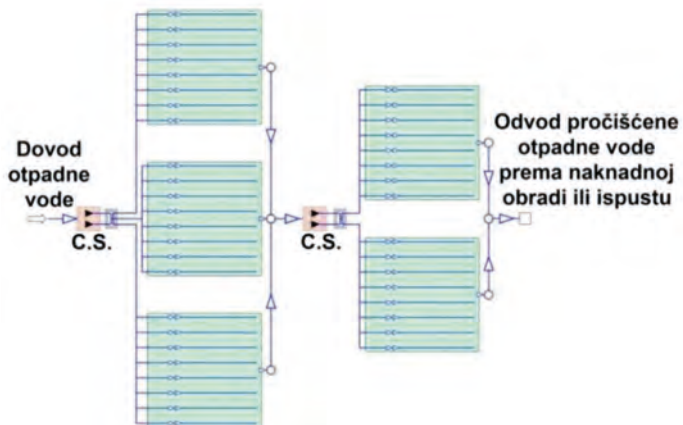
- vađenje i odvoz mulja u kraćim vremenskim intervalima, tj. u količinama usklađenim s prihvatnim kapacitetom vozila odnosno postrojenja na koje se odvozi mulj, te
- obrada odnosno skladištenje mulja na zasebnim poljima za ozemljavanje mulja na ili uz samu lokaciju biljnog uređaja.

Glavna obrada - Za glavnu odnosno biološku obradu otpadnih voda u pravilu se koriste vertikalni filtri. Kako je ranije rečeno, prethodno obrađena otpadna voda se na vertikalne filtre distribuira u obrocima, tj. intermitentno. Izuzetno je važno da distribucija bude jednolika po cijeloj površini filtara. U tu svrhu je potrebno po površini instalirati relativno gustu mrežu distribucijskih cjevovoda. Osim toga nužno je da protok distribucije bude veći od prihvatne moći filtra. Napominje se da navedeno vrijedi i za filtre sirove otpadne vode (koji se primjenjuju u prethodnoj obradi).

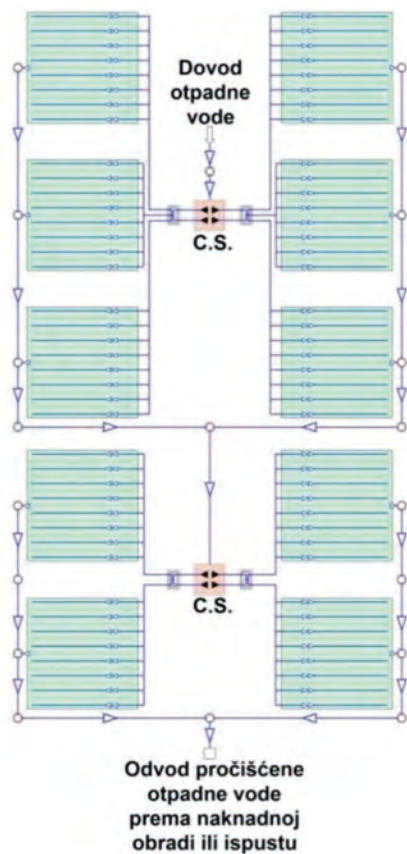
Standard, između ostalog, daje preporuke o minimalno potrebnom broju filtara, ukupnoj površini filtara, potrebnom kapacitetu crpke za distribuciju kao i potrebnom volumenu distribucije po jednom filtru.

Naravno, s povećanjem veličine uređaja povećava se potrebna površina filtara kao i kapacitet crpki za distribuciju otpadne vode, što posljedično dovodi do povećanja dimenzija distribucijskih tlačnih cjevovoda, posebno glavnog voda, retencijskog volumena te instaliranih snaga distribucijskih crpnih stanica.

Potreban kapacitet crpki za distribuciju moguće je smanjiti podjelom filtara na broj parcijalnih površina veći od minimalnog broja. Međutim, s povećanjem broja filtara povećava se broj potrebnih crpki, obzirom da svaki parcijalni filter u pravilu posjeduje vlastitu crpku za distribuciju. Time uređaj u određenoj mjeri postaje "složeniji". Navedeno je ilustrirano na slici 11 odnosno 12 na primjeru biljnog uređaja po tzv. "francuskom sistemu". Za uređaj kapaciteta 1.000 ES u slučaju minimalnog broja polja bilo bi potrebno izgraditi tri filtra sirove otpadne vode, svaki po 400 m². Protok crpke za distribuciju iznosio bi 66,6 l/s, a volumen jednokratne distribucije iznosio bi 14 m³. Glavna obrada provodila bi se na dva vertikalna filtra s grubim pijeskom, svaki po 500 m², uz protok crpke za distribuciju od 40 l/s i volumen jednokratne distribucije od 8 m³. U slučaju podjele na veći broj manjih filtara, u prikazanom primjeru udvostručnja, udvostručuje se i broj instaliranih crpki, uz odgovarajuće smanjenje površine filtara, protoka za distribuciju i volumena jednokratne distribucije na polovicu prvotne vrijednosti.



Slika 7. Tlocrtna shema biljnog uređaja, primjer s osnovnim brojem filtara



Slika 8. Tlocrtna shema biljnog uređaja, primjer s povećanim brojem filtara

RASPRAVA I ZAKLJUČAK

Primjena komunalnih biljnih uređaja prema Radnom listu DWA-A 262 (studeni 2017.) prvenstveno je vezana za opterećenja manja od 1.000 ES. Međutim, nije isključena primjena ovih uređaja i za opterećenja veća od 1.000 ES. Glavne prednosti biljnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda jesu jednostavno konstruktivno oblikovanje, jednostavan pogon, mala proizvodnja biomase odnosno sekundarnog mulja, mala potrošnja vanjske energije te visoki učinak pročišćavanja otpadnih voda. Glavna ograničenja za njihovu primjenu proizlaze iz potrebe za relativno velikim površinama i time rezultirajućih troškova. Može se pretpostaviti da je primjena navedenog standarda opravdana i na području Republike Hrvatske.

Posebno kod većih kapaciteta uređaja, složenijom postaje daljnja obrada odnosno zbrinjavanje mulja iz prethodne obrade, kao i osiguranje potrebne jednolike distribucije otpadne vode po pojedinim filtrima. U pogledu mulja moguće je vađenje i odvoz mulja u kraćim vremenskim intervalima ili njegova obrada odnosno dugogodišnje skladištenje na zasebnim poljima za ozemljavanje mulja na ili uz samu lokaciju biljnog uređaja. Ovo posljednje rješenje može biti posebno atraktivno ukoliko u bližoj okolini ne postoji mogućnost daljnje obrade mulja, a primijenjen je primjerice u Kašteliru [6]. Sličan efekt može se postići prethodnom obradom na filtrima sirove otpadne vode, što je primjerice bilo planirano za aglomeraciju Špišić Bukovica [7], ali do sada nije realizirano. Smanjenje kapaciteta crpki za jednoliku distribuciju otpadne vode po pojedinim filtrima i smanjenje volumena jednokratne distribucije moguće je postići podjelom ukupno potrebne površine filtra na više parcijalnih filtara, uz adekvatno povećanje broja ugrađenih crpki.

LITERATURA

- [1] ATV-Hinweis H 262: Behandlung von häusliche Abwasser in Pflanzenbeeten; 1989. (*ATV-upute H 262: Obrada kućanskih otpadnih voda u biljnim gredicama; 1989.*)
- [2] Arbeitsblatt ATV-A 262: Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenbeeten für kommunales Abwasser bei Ausbaugrößen bis 1000 Einwohnerwerte; Juli 1998. (*Radni list ATV-A 262: Osnove za dimenzioniranje, izgradnju i pogon biljnih gredica za komunalne otpadne vode kapaciteta do 1000 ekvivalentnih stanovnika; srpanj 1998.*)
- [3] Arbeitsblatt DWA-A 262: Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalen Abwassers; März 2006. (*Radni list DWA-A 262: Osnove za dimenzioniranje, izgradnju i pogon biljnih uređaja sa zasađenim filtrima od tla za biološko pročišćavanje komunalne otpadne vode; ožujak 2006.*)
- [4] Arbeitsblatt DWA-A 262: Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Kläranlagen mit bepflanzten und unbepflanzten Filtern zur Reinigung häuslichen und kommunalen Abwassers; studeni 2017. (*Radni list DWA-A 262: Osnove za dimenzioniranje, izgradnju i pogon uređaja za pročišćavanje sa zasađenim i nezasađenim filtrima za pročišćavanje kućanske i komunalne otpadne vode; studeni 2006.*)
- [5] Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council concerning urban wastewater treatment (recast); 26.10.2022.)

-
- [6] Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Općine Kaštelir - Labinci; II. etapa; Glavni projekt (Hidroprojekt-ing projektiranje d.o.o. srpanj 2015.)
- [7] Aglomeracija Špišić Bukovica; Sustav prikupljanja i transporta voda naselja Okrugljača i Bušetina s uređajem za pročišćavanje otpadnih voda; Idejni projekt; Mapa 3 (Građevinsko - tehnološki projekt); Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda (Hidroprojekt-ing projektiranje d.o.o. studeni 2016.)

AUTORI

Davor Stanković, dipl. ing. ^a

Danijela Jelić, dipl. ing. ^a

Emir Mešić, dipl. ing. ^a

^a Hidroprojekt-ing d.o.o. Draškovićeve 35, 10000 Zagreb, Hrvatska,
davor.stankovic@hp-ing.hr, danijela.jelic@hp-ing.hr, emir.mesic@hp-ing.hr



TEMA 4.

**VODNA POLITIKA, OBRAZOVANJE,
VODNOGOSPODARSKO PLANIRANJE,
MEĐUNARODNA SURADNJA I
SUDJELOVANJE JAVNOSTI**

Recenzenti:

**Darko Barbalić, Danko Biondić, Ranko Biondić, Marko Čaleta, Emina Hadžić
Dreznjak, Danko Holjević, Zlatko Mihaljević, Tatjana Vlahović,
Darija Vukić - Lušić**



R 4.01.

MONITORING KAO PODLOGA ZA IZRADU PLANA UPRAVLJANJA VODNIM PODRUČJIMA

Valerija Musić, Marija Šikoronja, Đorđa Medić, Daria Čupić

SAŽETAK: U skladu s odredbama Okvirne direktive o vodama u vodnom području, koje je glavna jedinica za upravljanje riječnim slivovima, utvrđuju se značajke i utjecaj ljudskih aktivnosti na stanje voda te provodi ekonomska analiza korištenja voda. U tu je svrhu potrebno provoditi međusektorsku aktivnost monitoringa voda, koji osigurava sveobuhvatan pregled stanja voda unutar riječnog sliva. Za provedbu monitoringa izrađuje se program usklađenja monitoringa, koji se odnosi na razdoblje ciklusa Plana upravljanja vodnim područjima, a temelji se na ocjeni stanja voda i analizama značajki vodnoga područja iz prethodnog planskog razdoblja, i usklađuje se s programom mjera za postizanje ciljeva zaštite vodnog okoliša. U ovom članku daje se pregled usklađenog programa monitoringa definiranog za razdoblje ciklusa Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. godine, kao i pregled unaprjeđenja programa monitoringa u odnosu na prethodno plansko razdoblje.

KLJUČNE RIJEČI: Monitoring, Program, Plan upravljanja vodnim područjima, Stanje, Hidrološki, Hidromorfološki, Meteorološki, Opterećenje

MONITORING AS A BASELINE FOR THE DEVELOPMENT OF A RIVER BASIN MANAGEMENT PLAN

ABSTRACT: In accordance with the provisions of the Water Framework Directive, the characteristics and the impacts of human activity on water status are determined, and an economic analysis of water use is performed in a river basin district, which is the main unit for management of river basins. For this purpose, it is necessary to carry out the intersectoral activity of water monitoring, which provides a comprehensive overview of water status within a river basin. In order to implement the monitoring, a programme of monitoring harmonisation, which relates to the period of the RBMP cycle, is developed. It is based on the water status assessment and analyses of river basin district characteristics from the previous planning period and harmonised with the programme of measures in order to achieve the objectives of water environment protection. The paper provides an overview of the harmonised monitoring programme for the RBMP until 2027, as well as an overview of the monitoring programme improvements in relation to the previous planning period.

KEYWORDS: Monitoring, Programme, River Basin Management Plan, Status, Hydrological, Hydromorphological, Meteorological, Load

1. UVOD

Direktiva 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2000. o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike (Okvirna direktiva o vodama) (SL L 327, 22.12.2000.), kao i Direktiva Komisije 2014/101/EU od 30. listopada 2014. o izmjeni Direktive 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike (SL L 311, 31. 10. 2014.) (ODV) propisuje da se u vodnom području, koje je glavna jedinica za upravljanje riječnim slivovima, utvrđuju značajke i utjecaj ljudskih aktivnosti na stanje voda te provodi ekonomska analiza korištenja voda. U tu je svrhu potrebno provoditi međusektorsku aktivnost monitoringa voda, čiji se rezultati koriste u procesu upravljanja stanjem voda i poplavnim rizicima, ali i u izvještavanju Europske unije o rezultatima monitoringa. Monitoring je najvažniji alat za utvrđivanje uzročno-posljedične veze između ljudskih aktivnosti, opterećenja koja one generiraju, utjecaja na vode i mjera za smanjenje opterećenja, opisane DPSIR modelom (eng. Driver - Pressure - State - Impact - Response, hrv. Pokretač - Opterećenje - Stanje - Utjecaj - Odgovor). Za uspostavu monitoringa koji će osigurati sveobuhvatan pregled stanja voda unutar riječnog sliva izrađuje se program usklađenja monitoringa, koji se određuje za razdoblje ciklusa Plana upravljanja vodnim područjima, temelji se na ocjeni stanja voda i analizama značajki vodnoga područja iz prethodnog planskog razdoblja, te se usklađuje s programom mjera za postizanje ciljeva zaštite vodnog okoliša. Program monitoringa se kontinuirano usklađuje u skladu sa zahtjevima ODV, u smislu poboljšanja cjelokupnog sustava monitoringa: definiranja reprezentativne mreže mjernih postaja, utvrđivanja pokazatelja stanja, razvijanja klasifikacijskih sustava ocjene, optimiziranja učestalosti ispitivanja, jačanja kapaciteta za plansku, tehničku i operativnu provedbu monitoringa i nadogradnje informacijskog sustava.

Prvi Program usklađenja monitoringa izrađen je za razdoblje ciklusa Plana upravljanja vodnim područjima 2016. - 2022. sa svrhom praćenja izvršenja plana i pripreme Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. Novi Program usklađenja monitoringa za razdoblje na koje se odnosi Plan upravljanja vodnim područjima do 2027. provodi se radi praćenja izvršenja ovog plana, ali i za pripremu Plana upravljanja vodnim područjima od 2028. do 2033. godine. Program obuhvaća: monitoring stanja površinskih i podzemnih voda, hidrološki, hidromorfološki i meteorološki monitoring te monitoring opterećenja i utjecaja opterećenja na stanje voda. Monitoringom stanja površinskih i podzemnih voda se provodi nadzor nad stanjem voda. Na temelju rezultata monitoringa i ocjene elemenata kakvoće, za svako vodno tijelo se donosi ocjena stanja. Za vodna tijela na kojima nema mjerne postaje stanje se procjenjuje na temelju analize opterećenja - utjecaja. Analizom se procjenjuje i rizik nepostizanja ciljeva zaštite vodnog okoliša, odnosno zadržavanja stanja voda u skladu sa ciljevima. Hidrološki, hidromorfološki i meteorološki monitoring ima višestruku funkciju u upravljanju vodama: u upravljanju stanjem voda, u upravljanju rizicima od poplava i zaštiti od štetnog djelovanja voda, u zaštiti voda i u korištenju voda. Monitoring opterećenja i utjecaja opterećenja na stanje voda je propisan upravnim aktima kojima se regulira korištenje voda i emisije u vode, a provode ga pravne i fizičke osobe

koje zahvaćaju vode, ispuštaju u vode ili provode zahvate u prostoru.

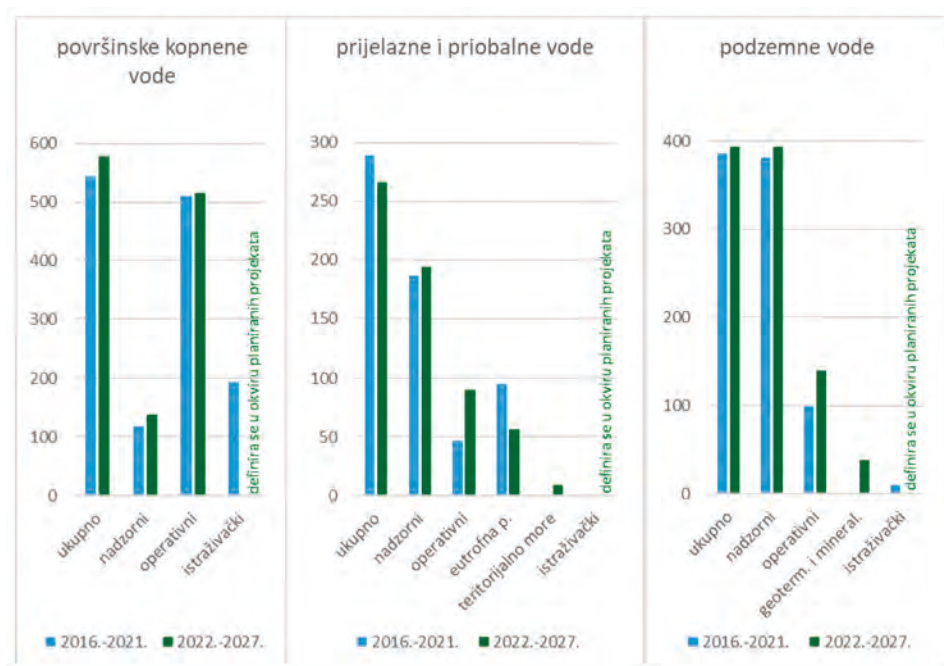


Slika 1. Vrste monitoringa obuhvaćene Programom usklađenja monitoringa

2. MONITORING STANJA VODA

Monitoring stanja voda provodi se u svim kategorijama voda, površinskim kopnenim vodama (rijeke i jezera), prijelaznim i priobalnim vodama, teritorijalnom moru i podzemnim vodama (koje uključuju geotermalne i mineralne vode). Podijeljen je u tri osnovne cjeline u skladu sa ciljevima: nadzorni monitoring, operativni monitoring i istraživački monitoring. Ciljevi nadzornog monitoringa su ocjena dugoročnih promjena prirodnih uvjeta ili promjena nastalih utjecajem ljudskih aktivnosti na stanje voda te planiranje budućeg monitoringa. Operativni monitoring se uspostavlja radi ocjenjivanja stanja vodnih tijela za koja je utvrđen rizik nepostizanja ciljeva zaštite voda (uključujući tijela površinskih voda u koja se ispuštaju prioritetne tvari i tijela podzemnih voda u kojima je utvrđen znatno i trajno rastući trend koncentracija onečišćujućih tvari) te praćenja promjena stanja vodnih tijela koja su rezultat provedbe programa mjera. Istraživački monitoring se provodi kako bi se utvrdili razlozi nepostizanja ciljeva zaštite voda kada oni nisu poznati te radi utvrđivanja veličine i utjecaja iznenadnog onečišćenja i planiranja programa mjera za postizanje ciljeva zaštite voda i otklanjanje posljedica iznenadnih onečišćenja.

U odnosu na prethodno plansko razdoblje monitoring stanja voda je značajno unaprijeđen posebno u postizanju reprezentativnosti mreže mjernih postaja, u značajnom povećanju broja ispitivanih elemenata i pokazatelja, kao i povećanju učestalosti ispitivanja.



Slika 2. Pregled broja mjernih postaja u monitoringu stanja voda u planskom ciklusu od 2016. do 2021. i u planskom ciklusu od 2022. do 2027. godine, prema vrstama monitoringa

2.1. Monitoring stanja rijeka i jezera

Na 1.590 vodnih tijela rijeka s površinom većom od 10 km² i 92 jezera koja imaju površinu veću od 0,5 km² provodi se monitoring elemenata ekološkog i kemijskog stanja na ukupno 578 mjernih postaja. U okviru razvojnih projekata u razdoblju od 2016. do 2021. godine proveden je opsežan istraživački monitoring na oko 195 novih mjernih postaja. Izdvojeno je 70-tak postaja koje su od 2022. godine pridružene mreži nadzornog i operativnog monitoringa.

Zbog ograničenog opsega monitoring podataka koji je u Planu upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. značajno utjecao na smanjenje pouzdanosti procjene stanja voda, analize opterećenja i utjecaja, utvrđivanja rizika postizanja dobrog stanja voda te praćenja učinka provedenih mjera (Hrvatske vode, 2023.), u odnosu na prethodno plansko razdoblje povećan je opseg i učestalost monitoringa bioloških elemenata kakvoće, koji se na postajama nadzornog monitoringa provodi u svakoj godini ciklusa Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. (s iznimkom bioloških elemenata makrofiti i riba koji se prate svake treće godine). I monitoring prioritarnih tvari u vodi se u novom planskom ciklusu na postajama nadzornog monitoringa provodi svake godine, čime je povećana učestalost u odnosu na prethodno razdoblje. Nakon provedenog istraživačkog monitoringa prioritarnih tvari u sedimentu i bioti u razdoblju od 2019. do 2021. godine, od 2022.

godine se uvodi monitoring prioritetnih tvari u bioti na svim postajama nadzornog monitoringa trogodišnjom učestalošću, te na postajama operativnog monitoringa svake godine. Analizom opterećenja i utjecaja utvrđen je popis 20-tak novih tvari koje se od 2022. godine ispituju na postajama operativnog monitoringa te koje su, uz ostale onečišćujuće tvari u programu monitoringa, mogući kandidati za specifične onečišćujuće tvari za koje će biti potrebno propisati standarde kakvoće.

U Programu usklađenja monitoringa planiran je niz razvojnih projekata, od kojih se mnogi odnose na daljnji razvoj klasifikacijskih sustava za tipove rijeka i jezera za koje klasifikacijski sustavi još nisu razvijeni. Razvojni projekti uključuju provedbu ciljanog istraživačkog monitoringa.

2.2. Monitoring stanja prijelaznih i priobalnih voda

Na 35 tijela prijelaznih voda i 77 tijela priobalnih voda provodi se monitoring elemenata ekološkog i kemijskog stanja na ukupno 77 mjernih postaja prijelaznih i 123 mjerne postaje priobalnih voda. U odnosu na prethodno plansko razdoblje monitoring je unaprijeđen u smislu boljeg prostornog i vremenskog rasporeda te je povećan opseg i učestalost monitoringa bioloških elemenata kakvoće, koji se provodi jednom u tri godine ciklusa Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. Započinje se s mjesečnim praćenjem gotovo svih elemenata kemijskog stanja u vodi, na postajama nadzornog monitoringa svake treće godine, a na postajama operativnog monitoringa kontinuirano.

Od 2024. godine u monitoring se uvodi devet mjernih postaja na području teritorijalnog mora, na kojima se prate elementi kemijskog stanja u vodi i bioti dinamikom nadzornog monitoringa. Nastavlja se i provedba monitoringa u područjima prijelaznih i priobalnih voda podložnima eutrofikaciji.

Analize provedene za potrebe izrade Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. ukazuju na potrebu dodatnih istraživanja u svrhu tipiziranja i daljnjeg razvoja klasifikacijskih sustava za ocjenu ekološkog stanja i potencijala, za određene tipove prijelaznih i priobalnih voda i slana jezera, kao i za određene elemente kakvoće. U okviru ovih istraživanja planirana je provedba istraživačkog monitoringa.

2.3. Monitoring stanja podzemnih voda

Monitoring kemijskog stanja 33 vodnih tijela podzemnih voda provodi se na 394 mjerne postaje, učestalošću mjerenja od četiri do dvanaest puta godišnje. Program monitoringa je proširen povećanjem dinamike praćenja relevantnih pokazatelja u tijelima podzemnih voda u kojima je utvrđeno značajno antropogeno opterećenje te su tijela u lošem stanju ili u riziku nepostizanja dobrog stanja.

Definirana je mreža nadzornih mjernih postaja u zonama opskrbe vodom za ljudsku potrošnju. Na njima je uvedeno praćenje novih pokazatelja iz Direktive 2020/2184 Europskog parlamenta i Vijeća od 16. prosinca 2020. o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju (preinaka) (SL L 435/1, 23. 12. 2020.) (DWD), kako bi se procijenio rizik i smanjilo opterećenje ili rizik od opterećenja podzemnih vodnih tijela koja se koriste za vodoopskrbu, bilo javnog ili lokalnog tipa. Na mreži operativnih mjernih postaja u zonama vodoopskrbe koje su u riziku neusklađenosti sa zdravstvenom ispravnošću vode za ljudsku potrošnju ispituju se pokazatelji koji uzrokuju rizik.

U 2024. godini započinje provedba monitoringa kemijskog i količinskog stanja geotermalnih i mineralnih voda na 39 mjernih postaja. Sve mjerne postaje su u programu nadzornog monitoringa i imaju dinamiku mjerenja jednom u tri godine, osim mjerne postaje na Istarskom podzemnom vodnom tijelu, gdje je uspostavljen operativni monitoring zbog utvrđenog lošeg stanja radi snižavanja temperature.

Daljnji razvoj monitoringa stanja podzemnih voda usmjerava se na praćenje tijela podzemnih voda gdje postoji povezanost podzemnih i površinskih voda i ekosustava ovisnih o podzemnim vodama, količinskog stanja u tijelima podzemnih voda čiji podzemni tokovi prelaze granicu zemlje, utjecaja klimatskih promjena te sadržaja novih organskih spojeva propisanih u DWD.

3. HIDROLOŠKI, HIDROMORFOLOŠKI I METEOROLOŠKI MONITORING

Hidrološki, hidromorfološki i meteorološki monitoring je temelj za procjenu vodnih resursa i specifičan je zbog višestrukih ciljeva. Hidrološka mjerenja se obavljaju sa ciljem upravljanja vodama i rizicima od poplava, utvrđivanja ekološkog stanja / potencijala površinskih voda i količinskog stanja podzemnih voda te hidrološka istraživanja i analize. Meteorološka mjerenja se obavljaju u svrhu osiguravanja pouzdanih i pravodobnih meteoroloških i hidroloških podataka i informacija o vremenu, vodama, moru, tlu i zraku, za potrebe državnih ustanova, javnosti, sigurnosti i očuvanja ljudskih života i dobara, prostornog planiranja, zdravlja, zaštite okoliša i upravljanja vodama te ostalih gospodarskih djelatnosti od interesa za Republiku Hrvatsku. Za provedbu hidrološkog i meteorološkog monitoringa nadležan je Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) koji uspostavlja Meteorološki i hidrološki motriteljski sustav Republike Hrvatske, u okviru kojeg obavlja hidrološka motrenja i prikupljanje podataka u površinskim i podzemnim vodama, kontrolu i obradu podataka te pohranu u hidrološki informacijski sustav. Program hidrološkog monitoringa je rezultat usklađenih interesa DHMZ-a, Hrvatskih voda i Hrvatske elektroprivrede (HEP).



Slika 3. Ciljevi hidrološkog, hidromorfološkog i meteorološkog monitoringa

Posebno treba istaknuti hidromorfološki monitoring koji obuhvaća hidrološki monitoring, monitoring vodnih građevina (monitoring stanja i opterećenja), batimetrijska mjerenja, granulometrijska mjerenja, oceanološka mjerenja, monitoring sastava obale i monitoring pomorskih građevina.

S obzirom na sve zahtjeve koji proizlaze iz potreba procjene stanja voda i ostalih vidova upravljanja vodama i vodnim resursima, planirano je značajno unaprjeđenje programa hidrološkog i hidromorfološkog monitoringa. U odnosu na prethodno plansko razdoblje povećan je broj hidroloških postaja u rijekama i jezerima s 548 na 617, a planira se povećanje na 684 hidrološke postaje. Provodi se modernizacija ili obnavljanje / izmještanje postaja te se uspostavlja 67 novih hidroloških postaja, na kojima će redovito mjerenje započeti u 2024. godini. Mjerenje razina podzemnih voda se provodi na 688 postaja, od kojih se kontinuirano mjerenje razina podzemnih voda limnigrafima provodi na 98 postaja.

Uz postojeći monitoring vodnih građevina na rijekama i jezerima, u okviru projekta VEPAR (Vodno i Ekološko Praćenje, Analize i Rješenja) koji se provodi u svrhu unaprjeđenja negrađevinskih mjera za upravljanje rizicima od poplava provodi se i monitoring i kartiranje obilježja vodotoka i hidrotehničkih građevina i pohranjivanje prostornih podataka. Praćenje izgradnje novih vodnih i infrastrukturnih građevina, građevina hidroenergetskih sustava i građevina unutarnjih plovnih putova provodi se evidencijom zahtjeva za pristup informacijama vezanima za stanja vodnih tijela u svrhu procjene utjecaja zahvata na okoliš.

U okviru projekta VEPAR provode se snimanja poprečnih presjeka rijeka, uključivo i prijelaznih voda unutar granica vodotoka, ukupne duljine blizu 6.000 km za koje se procjenjuje da su značajne za izradu matematičkih hidrauličkih modela. U 2019. i 2020. godini je proveden prvi istraživački monitoring sedimenta sa ciljem stvaranja podatkovne osnove o karakteristikama nanosa s dna rijeka, a tijekom 2024. i 2025. godine se monitoring nastavlja na 60-tak mjernih postaja. U 2020. godini su provedena detaljna mjerenja batimetrijskih i psalmoloških karakteristika te snimanja obala prirodnih jezera površine veće od 0,5 km². Do 2025. godine je planirana provedba mjerenja u stajaćicama / akumulacijama površine veće od 0,5 km².

I u prijelaznim i priobalnim vodama je planirana provedba hidromorfološkog monitoringa, koji uključuje monitoring batimetrijskih, granulometrijskih i oceanoloških svojstava te monitoring sastava obale i pomorskih građevina. U tijeku je kartiranje obalnih i pridnenih morskih staništa za potrebe upravljanja zaštićenim područjima posebice Natura 2000 područjima, koje se provodi u okviru provedbe Operativnog programa Konkurentnost i kohezija (OPKK). Uz ostala obavljena su i batimetrijska i osnovna granulometrijska mjerenja. Prikupljeni podaci i rezultati projekta će se koristiti za analizu hidromorfoloških promjena varijacije dubine i strukture supstrata i procjenu ekološkog stanja prijelaznih vodnih tijela koji su izvan granica vodotoka i priobalnih vodnih tijela.

4. MONITORING OPTEREĆENJA I UTJECAJA OPTEREĆENJA NA STANJE VODA

Monitoring opterećenja i utjecaja na pojedine elemente kvalitativnog i kvantitativnog stanja voda provodi se u svrhu kontrole emisija u vode i korištenja voda. Informacije o opterećenju i utjecaju opterećenja na stanje voda koriste se u analizi opterećenja - utjecaja, odnosno procjeni stanja voda, propisivanju programa mjera i analizi rezultata provedbe mjera (Hrvatske vode, 2016.). Monitoring opterećenja iz točkastih izvora sastoji se od monitoringa emisija u vode, monitoringa zahvaćanja voda i monitoringa hidromorfološkog opterećenja. Praćenje opterećenja komunalnim, industrijskim i drugim otpadnim vodama je definirano u vodopravnim dozvolama za ispuštanje otpadnih voda ili u rješenjima o okolišnoj dozvoli. Praćenje zahvaćanja voda se vrši kroz ugovore o koncesiji za gospodarsko korištenje voda ili vodopravne dozvole za korištenje voda. Vodopravne dozvole se usklađuju sa ciljevima zaštite voda u razdoblju ciklusa Plana upravljanja vodnim područjima te se planira propisivanje detaljnijeg monitoringa otpadnih voda, ugradnja vodomjera i praćenja količina zahvaćene vode, kao i praćenje utjecaja otpadnih voda odnosno zahvaćanja voda na stanje voda. Planira se također propisivanje dodatnog monitoringa hidromorfološkog opterećenja i istraživačkog monitoringa sa ciljem provjere hidromorfološkog potencijala i utvrđivanja ekološki prihvatljivog protoka.

Monitoring opterećenja iz raspršenih izvora se ne provodi u cijelosti zbog čega je u Planu upravljanja vodnim područjima do 2027. ono procijenjeno bilanciranjem tereta onečišćujućih tvari duž vodnoga toka. Stoga je u ovom planskom ciklusu potrebno napraviti iskorak u uspostavi i razvoju monitoringa opterećenja iz raspršenih izvora, posebice monitoringa utjecaja poljoprivredne proizvodnje na stanje voda te monitoringa potrošnje pesticida u šumarstvu.

ZAKLJUČAK

Budući da se na temelju rezultata monitoringa generiraju ključne informacije o stanju vodnih tijela i postizanju ciljeva zaštite vodnog okoliša, programi monitoringa voda trebaju biti dizajnirani tako da osiguravaju što točnije i cjelovitije informacije. Za Hrvatsku je usklađenje programa monitoringa dosada predstavljalo veliki izazov. Radi se o kontinuiranoj aktivnosti koja se prilagođava svakom ciklusu provedbe Plana upravljanja vodnim područjima, i iako je postignut veliki napredak u različitim segmentima sustava monitoringa, i dalje je potrebno usklađivati opseg monitoringa u ovisnosti o opterećenjima koja proizlaze iz ljudskih aktivnosti, utjecaju na vode i mjerama za smanjenje opterećenja, ali i razvijati segmente sustava koji još uvijek nisu dovoljno razvijeni, posebno kroz provedbu istraživačkih monitoringa.

LITERATURA

- [1] Hrvatske vode (2023): Plan upravljanja vodnim područjima do 2027. (Narodne novine, broj 84/23)
- [2] Hrvatske vode (2016): Program usklađenja monitoringa, <http://www.voda.hr> (09.11.2017.)

AUTORI

mr. sc. Valerija Musić ^a

Marija Šikoronja, dipl. ing. biol. ^b

Đorđa Medić, dipl. ing. kem. ^c

mr. sc. Daria Čupić, dipl. ing. geol. ^d

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb 10000, Hrvatska,
valerija.music@voda.hr

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb 10000, Hrvatska,
marija.sikoronja@voda.hr

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb 10000, Hrvatska,
dorda.medic@voda.hr

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb 10000, Hrvatska,
daria.cupic@voda.hr



R 4.02.

ANALIZA PRITISAKA I UTJECAJA U TREĆEM PLANSKOM CIKLUSU UPRAVLJANJA VODNIM PODRUČJIMA

Darko Barbalić, Đorđa Medić, Marina Barbalić, Sanja Barbalić

SAŽETAK: Plan upravljanja vodnim područjima, iza Strategije upravljanja vodama, predstavlja po važnosti drugi tehnički dokument upravljanja vodama. Osnovno sredstvo za izradu plana je analiza pritisa i utjecaja s procjenom dostizanja okolišnih ciljeva vodnih tijela, koja osim što treba ukazivati na početno stanje voda, treba omogućiti i podršku za izbor mjera za njegovo poboljšanje, dati naznake o mogućnosti provođenja budućih aktivnosti na vodama te procijeniti stanje na kraju razdoblja važenja uzimajući u obzir sve relevantne sadržaje. U ovom radu je dan kratki prikaz analize pritisa i utjecaja koja je provedena u trećem planskom ciklusu i odnosi se na površinske prirodne, jako izmijenjene i umjetne kopnene tekućice i stajačice.

KLJUČNE RIJEČI: Plan upravljanja vodnim područjima, Analiza pritisa i utjecaja, DPSIR

THIRD RIVER BASIN MANAGEMENT PLANNING CYCLE IMPRESS ANALYSIS

ABSTRACT: The River Basin Management Plan, after the Water Management Strategy, is the second most important technical water management document. The basic tool for creating a plan is an analysis of pressures and impacts with an assessment of the achievement of the environmental goals for water bodies, which, in addition to indicating the initial state of water bodies, should also provide support for the selection of measures for its improvement, indicate possibilities of future development activities, and assess status at the end of the planning cycle taking into account all relevant elements. This paper provides a brief overview of the analysis of pressures and impacts, which was carried out in third planning cycle for surface waters - natural, heavily modified and artificial rivers and lakes.

KEYWORDS: River Basin Management Plan, Analysis of Pressures and Impacts, DPSIR

1. UVOD

Hrvatska već duže vrijeme intenzivno usklađuje cjelokupno upravljanje vodama s EU Okvirnom direktivom o vodama (Direktiva 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2000. o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike (Okvirna direktiva o vodama) (SL L 327, 22.12.2000.). Jedna od najvažnijih preuzetih obaveza je izrada Plana upravljanja vodnim područjima (PUVP, Vlada Republike Hrvatske, 2023b) kojeg usvaja Vlada Republike Hrvatske i nakon Strategije upravljanja vodama predstavlja po hijerarhiji drugi tehnički dokument upravljanja vodama. PUVP-om se na osnovu procijenjenog stanja voda predlaže program mjera kojim se nastoje dostići okolišni ciljevi u slijedećem 6-godišnjem planskom razdoblju. Opseg i potrebni resursi za provođenje mjera su vrlo veliki a njihov učinak ograničen, pa je time i proces njihovog planiranja izuzetno bitan kako bi se povećala efikasnost upravljanja vodama. Osnovni alat planiranja je analiza pritiska (koristi se i izraz „opterećenja“) i utjecaja (IMPRESS analysis) sa procjenom stanja vodnih tijela koja osim što treba ukazivati na „početno“ stanje voda na osnovu kojeg se predlažu mjere za njegovo poboljšanje, treba omogućiti i podršku za izbor mjera što bližih optimalnim, dati naznake o mogućnosti provođenja budućih aktivnosti na vodama te procijeniti stanje na kraju razdoblja važenja PUVP-a uzimajući u obzir sve relevantne sadržaje. Navedene aktivnosti provode se za sve kategorije voda, podzemne hladne, termalne i mineralne te površinske prirodne, znatno promijenjene i umjetne kopnene tekućice i stajačice kao i za prijelazne, priobalne vode i teritorijalne vode mora. Ove kategorije voda kao i raspoloživi podaci za analizu se bitno razlikuju pa se i potrebne aktivnosti i proračuni razlikuju. U ovom radu su prikazane analize koje se odnose na površinske prirodne, jako izmijenjene i umjetne kopnene tekućice i stajačice.

2. VODNI SUSTAV

Osnovne jedinice za analizu značajki i upravljanja kakvoćom voda su vodna tijela. Određivanje vodnih tijela površinskih kopnenih voda počinje analizom prirodnih značajki voda, na temelju kojih se ukupnost voda na nekom području dijeli na jasno određene, prirodno približno homogene elemente prvenstveno prema kategoriji i tipologiji, utemeljenoj na povezanosti prirodnih bioloških zajednica i relevantnih abiotičkih značajki površinskih voda. Za potrebe upravljanja, pojedino, tako izdvojeno vodno tijelo dodatno se može dijeliti na manja vodna tijela:

- koja su jasno određena i u smislu stvarnoga stanja, rizika, ciljeva koji se planiraju postići i mjera koje su za to primijenjene i/ili
- koja je moguće podijeliti na osnovu sekundarnih kriterija kao što su namjena određenih voda, izloženost antropogenim opterećenjima i utjecajima, status zaštićenosti i slično.

Za PUVP do 2027. provedeno je novo tipološko razvrstavanje voda koji se temelji na provedenom postupku interkalibracije sustava ocjenjivanja na nivou Europske unije čime je, po prvi put, ocjena stanja voda usklađena i postala usporediva sa ostalim državama članicama. Također, u ovom planskom ciklusu, odlučeno je da se napusti dvojbena koncept podjele vodnih cjelina na velike (vodotoci s površinom sliva većom od 10 km² i jezera s površinom većom od 0.5 km²) i male te se od ovoga PUVP-a sve vode, bez obzira na veličinu, tretiraju jednako i u punom opsegu.

Kako bi se omogućilo bilanciranje i kontinuitet kao i procjena među-utjecaja kopnenih površinskih voda sa ostalim kategorijama, vodni sustav je upotpunjen i podacima o obalnoj crti i važnijim većim vodotocima susjednih država. Hidrološke karakteristike su određene na osnovu obrade svih relevantnih informacija o protocima na hidrološkim postajama iz baze HIS 2000 Državnog hidrometeorološkog zavoda.

3. ANTROPOGENE AKTIVNOSTI

Osnovni uzrok nepostizanja ciljeva okoliša (odnosno najmanje dobrog stanja i ne pogoršanja stanja voda) su antropogene aktivnosti odnosno „pritisci” ili „opterećenja”. Kako bi se mogao procijeniti njihov utjecaj i potreba njihovog smanjenja, potrebno ih je sistematizirati i kvantificirati, te ukoliko se pokažu relevantnim uključiti u analizu pritiska i utjecaja. U ovom su PUVP-u razmatrani svi točkasti i raspršeni pritisci definirani relevantnim dokumentima koji su podloga za izradu PUVP-a. Svi izvori (pokretači) opterećenja sistematizirani su u sljedeće grupe: stanovništvo (urbani razvoj), turizam i rekreacija, industrija, akvakultura i ribarstvo, poljoprivreda, šumarstvo, transport, proizvodnja energije hidroelektranama, ostali načini proizvodnje energije, obrana od poplava, klimatske promjene te ostali izvori opterećenja. Obuhvat raspršenih izvora onečišćenja voda proširen je u odnosu na prethodni PUVP. Neki izvori su obrađeni potpuno i detaljno, na temelju pouzdanih podataka, za neke je izvršena orijentacijska procjena sastava i intenziteta emisije, a neki su samo prostorno locirani i pretpostavljen je mogući sastav emisije. Također, vođeno je računa i o različitim putevima opterećenja do voda kao i budućim predvidivim aktivnostima. Po prvi put su sustavno adresirane i u analizu uključene klimatske promjene, atmosferska depozicija, unos zagađenja sapiranjem sa urbanih površina te unos invazivnih vrsta. Značajno je povećana prostorna razlučivost raspršenog opterećenja stanovništva (do nivoa adrese) i poljoprivrede (do nivoa parcele iz ARCOD-a). Osim trenutnih intenziteta opterećenja, provedena je i procjena intenziteta opterećenja za 2027. godinu (na kraju važenja PUVP-a) za stanovništvo, poljoprivredu i gospodarske aktivnosti uz pretpostavku da će biti provedene osnovne mjere koje propisuju relevantne direktive. Buduće hidromorfološke promjene su procijenjene na osnovu informacija iz postupaka procjene utjecaja na okoliš. Klimatske promjene su uzete u obzir s dva scenarija (RPC 4.5 i RPC 8.5) i za dva vremenska razdoblja (2011. - 2040. i 2041. - 2070.) koje je razvio Državni hidrometeorološki zavod.

4. PROCJENA UTJECAJA

Sve veća i obuhvatnija primjena PUVP-a u praksi zahtijevala je i bitno povećanje opsega i unapređenje procjene pritiska i utjecaja odnosno dostizanja ciljeva okoliša u odnosu na prethodne planske cikluse i vodiče za provedbu. Kako bi se omogućio jedinstven i usklađen okvir za upravljanje stanjem voda, bilo je potrebno omogućiti:

- provođenje analize za sve potrebne elemente kakvoće i na način propisan Okvirnom direktivom o vodama i Uredbom o izmjenama i dopunama uredbe o standardu kakvoće voda (Vlada RH, 2023a) koja je izrađivana paralelno s PUVP-om. Ovisno o eko-tipu, stanje vodnog tijela se opisuje sa 60-tak parametara od kojih većina ima dva standarda ocjene (srednja godišnja i maksimalna koncentracija), pri čemu su neki standardi tip-specifični a broj klasa statusa varira između dvije i pet,

- usuglašenu i koherentnu procjenu stanja, odnosno postizanja ciljeva okoliša, stupnja odstupanja od dobrog stanja te rizika od nepostizanja ciljeva okoliša vodnih tijela,
- integraciju svih raspoloživih podataka hidrološkog monitoringa, te monitoringa stanja voda i onečišćivača,
- primjenu principa pokretač - pritisak - stanje - utjecaj - odgovor (DPSIR),
- uključivanje svih relevantnih točkastih i raspršenih pritisaka koji utječu na stanje voda,
- procjenu rezultata na nivou svih vodnih tijela, bez obzira na veličinu, uključujući i ona na kojima nema postaja monitoringa,
- integraciju informacija i rezultata analiza za podzemna vodna tijela te tijela prijelaznih, priobalnih i teritorijalnih voda u jedinstveni sustav za obradu rezultata,
- izradu kartografskih i tabličnih prikaza za potrebe izrade PUVP-a, izvješća prema informacijskom sustavu Europske komisije, Registar vodnih tijela i provjeru rezultata.

Za razliku od vrlo regulirane i usuglašene („interkalibrirane“) procjene stanja vodnih tijela, države članice imaju znatno veću slobodu pri procjeni rizika nepostizanja ciljeva okoliša. Za kopnene površinske vode pri procjeni, korišteni su sljedeći mogući utjecaji:

- neispunjavanje planiranog programa osnovnih mjera,
- invazivne vrste,
- četiri realizacije klimatskih promjena (dva scenarija i dva razdoblja),
- kumulativni utjecaj budućih razvojnih aktivnosti te
- nepouzdanosti procjene stanja,

a sve u odnosu na očekivano stanje na kraju važenja PUVP-a, 2027. godine.

Ukupni negativni utjecaj je jednak zbroju svih utjecaja koji ukazuju da dobro stanje neće biti postignuto, ponderirani težinskim faktorima. Za razliku od ostalih utjecaja koji su međusobno neovisni i za koje su korišteni isti težinski faktori, s obzirom da se u jednom trenutku može očekivati jedna realizacija klimatskih promjena, za utjecaj klimatskih promjena korišten je četiri puta manji težinski faktor.

Rizik je kvalitativno iskazan u tri klase:

- okolišni ciljevi će vjerojatno biti postignuti,
- procjena nije pouzdana,
- okolišni ciljevi vjerojatno neće biti postignuti.

Kako bi se osigurali potrebni rezultati, bilo je potrebno provesti proračun scenarija:

- prosječno stanje u razdoblju 2016. - 2019. godina i koje predstavlja mjerodavno „početno“ stanje i
- stanje 2027. godine, na kraju predviđenog važenja PUVP-a, uključujući i efekte provođenja predviđenih osnovnih mjera.

Uz ova dva temeljna scenarija proračunom su obuhvaćeni i nepotpuni dodatni scenariji za potrebe:

- definiranja elemenata potrebnih za proglašavanje jako izmijenjenih vodnih tijela
- utjecaja zahvaćanja, ispuštanja i preusmjeravanja voda odnosno definiranje hidrološkog „prirodnog“ režima

- procjene rizika nepostizanja ciljeva okoliša i to četiri scenarija utjecaja klimatskih promjena te scenariji utjecaja budućih razvojnih aktivnosti, utjecaja invazivnih vrsta, utjecaja ne provođenja osnovnih mjera te utjecaja nepouzdanosti proračuna.

Za potrebe provjere rezultata rada modela i kao potpora odlučivanju u izradi PUVP-a proračunata su još dva interna scenarija kojima je opisano stanje voda tijekom:

- 2019. godine i
- malih voda.

Najvažniji elementi u provođenju procjena su prikazani na slici 1.

S obzirom na dinamičnost izrade PUVP-a te konstantna prilagođavanja obrada i analiza raspoloživim podacima, novim metodologijama i potrebama, kao i potrebe dorada sukladno sugestijama prikupljenim tijekom postupka sudjelovanja javnosti i dionika, nije bilo moguće razviti jedan jedinstveni numerički model koji bi dao odgovor na sva pitanja. Radi toga su obrade provedene kombinacijom manualnog rada sa GIS alatima te razvijanjem niza rutina i procedura od kojih je dio morao biti obavljan paralelno kako bi se obrade provele u razumnom roku.

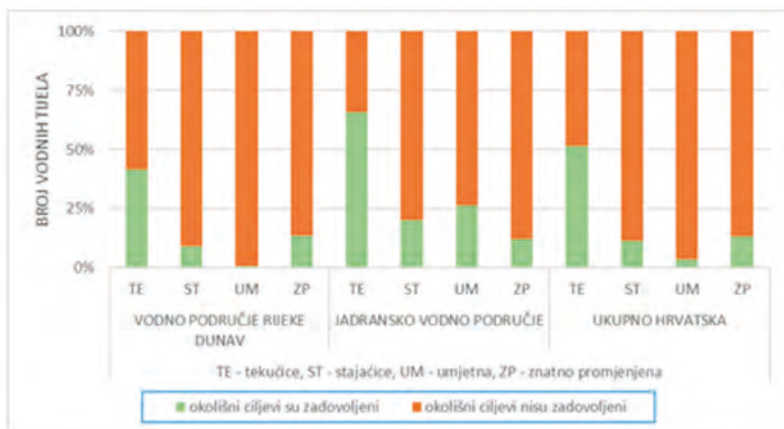
Kalibracija računskog koeficijenta otjecanja je provedena za sve slivove i međuslivove postaja hidrološkog monitoringa, uzimajući u obzir i informacije o prostornoj distribuciji oborina i zahvaćanjima, ispuštanjima i preusmjerivanjima voda. Nakon toga provedene su kalibracije za sve parametre koji ulaze u ocjenu stanja. S obzirom na to da se u općem slučaju monitoring pojedinih parametara kakvoće ne provodi na svim postajama te da je i raspored i intenzitet pripadajućih pritisaka bitno različit, definiranje slivova i međuslivova i kalibracija na njima je provedena za svaki parametar posebno.

Za biološke elemente kakvoće, rezultati biološkog monitoringa su iskorišteni za kalibraciju „računskog omjera ekološke kakvoće“ koji je definiran na osnovu vrijednosti pratećih elemenata kakvoće koji utječu na pojedini biološki element.

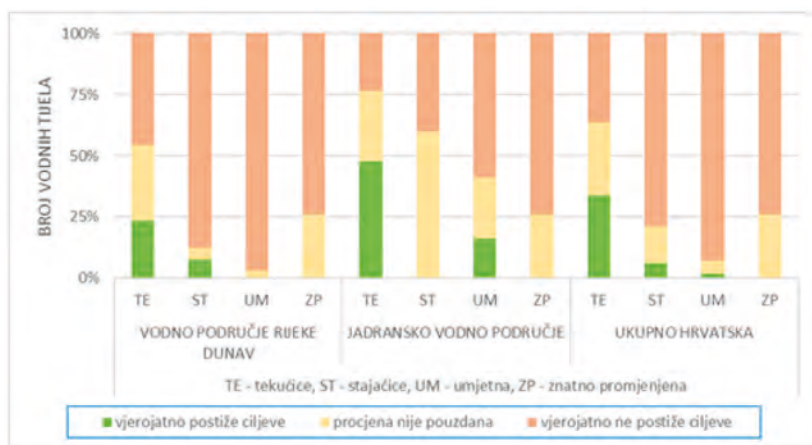
Proračun je proveden za segmente vodotoka i jezera a onda su pojedini segmenti integrirani u vodna tijela. Takvo, vremenski i prostorno određeno, mjerodavno stanje u skladu sa scenarijem, može se razlikovati od stanja ocijenjenog u točki na osnovu rezultata monitoringa za jednu godinu.

Za hidromorfološke elemente kakvoće, s obzirom na vrlo specifične načine ocjene stanja koji su se razvijali kroz vrijeme a u velikoj mjeri se oslanjaju na stručne procjene, podešavanje modela je provedeno tako da su za četiri varijante intenziteta opterećenja razmatrani rezultati proračuna u odnosu na postojeća saznanja i procjene te su kao konačni, odabrani oni intenziteti koji su smatrani najadekvatnijim.

riječ o velikim stajaćicama jer njihova površina čini preko 85 % ukupne površine. Kopnenim površinskim vodama pripada i 647 umjetnih i 497 znatno promijenjenih vodnih tijela. Veliki broj elemenata kakvoće, sustav ocjenjivanja prema stanju i potencijalu, različite kategorije vodnih tijela te niz drugih specifičnosti važećeg klasifikacijskog sustava praktično onemogućuju prikaz stanja voda u očekivanom opsegu ovog rada. Radi toga su prikazani samo konačni rezultati procjene postizanja okolišnih ciljeva (Slika 2) i rezultati procjene rizika nepostizanja okolišnih ciljeva (Slika 3) za kopnena površinska vodna tijela.



Slika 2. Rezultati procjene postizanja okolišnih ciljeva



Slika 3. Rezultati procjene rizika nepostizanja okolišnih ciljeva

Detalniji ali još uvijek sažeti rezultati s komentarima prikazani su u PUVU-u a kartografski i sumarni grafički i tablični prikazi su dostupni u dokumentima (Hrvatske vode 2023a, 2023b, 2023c, ukupno preko 700 stranica). Za pojedina vodna tijela informacije su sadržane u izvatku iz Registra vodnih tijela (Hrvatske vode 2023d) koji se može dobiti putem zahtjeva za pristup informacijama.

6. ZAKLJUČAK

Usprkos značajnom opsegu i skromnim resursima koji su bili na raspolaganju, sve potrebne procjene su provedene u očekivanim rokovima te su osigurane podloge potrebne za završetak PUVP-a, koncipiranje programa mjera i izvješćivanje prema Europskoj komisiji koje je Hrvatska uspjela ispuniti kao osma od 27 zemalja Europske unije.

Ključni čimbenik za sve provedene analize su ulazni podaci, kako o vodnom sustavu i njegovim hidromorfološkim, hidrološkim i ekološkim karakteristikama, tako i podaci o pritiscima te podaci monitoringa stanja voda. Svakako je neophodno i dalje predano raditi na prikupljanju, sistematizaciji i pripremi navedenih podataka te uspostaviti bolju komunikaciju sa nadležnim institucijama kako bi to prikupljanje bilo što lakše a podaci prilagođeni potrebama analize.

Opseg analiza koje je bilo potrebno provesti je daleko iznad očekivanja. Radi toga se tijekom rada često odustajalo od većine zahtjeva koji nisu bili neophodni za završetak plana ili su trebali biti podloga za dodatne potrebe što je izuzetna šteta. Za očekivati je da će tijekom izrade slijedećeg PUVP-a, koja bi već trebala početi, dodatno rasti zahtjevi i potrebe kao i da će se povećati detaljnost podataka pa će biti potrebno primijeniti unapređene metodologije što će vjerojatno iziskivati i mnogo veće računalne i sve druge resurse.

Uz sve navedeno, veliki izazov je i provjera, kontrola i interpretacija rezultata proračuna jer je iskustvo i znanje stručnjaka još uvijek ključno za zadovoljavajuće funkcioniranje cjelokupnog sustava i tako će vjerojatno ostati još nekoliko planskih ciklusa.

Prilagodba upravljanja vodama Okvirnoj direktivi o vodama provodi se već preko 20 godina, od toga intenzivno, od ulaska Hrvatske u Europsku uniju 2013. godine. Ipak čini se da je preostalo još dosta posla kako bi se odgovorilo na sve detaljnije zahtjeve, usvojile nove politike, tehnologije i metodologije. PUVP kao i rezultati analize pritiska i utjecaja izrađuju se usvajaju i još uvijek promatraju kao „knjiga ili studija“ na nivou države ali se sve više i više njihovi rezultati koriste na nivou vodnog tijela za potrebe prilagođavanja pojedinačnih postojećih i budućih aktivnosti u prostoru kako bi se dostigli ciljevi okoliša. Radi toga će vjerojatno u budućnosti i to vrlo brzo biti potrebno napustiti koncept „knjige/studije“ te preći na koncept sustava upravljanja stanjem voda u stvarnom vremenu.

ZAHVALA

U procesu izrade PUVP-a do 2027. i naročito u osiguravanju podloga za potrebe analize pritiska i utjecaja te komentiranja rezultata, sudjelovao je veliki broj osoba, prvenstveno djelatnika Hrvatskih voda, te veliki broj institucija, kako kroz redovni posao tako i putem niza projekata, mehanizama sudjelovanja javnosti i dionika na izradi PUVP-a, procjene utjecaja na okoliš, bilateralnih i multilateralnih međunarodnih komisija, radnih grupa Strategije za zajedničku implementaciju Europske komisije, e-savjetovanja, službenom usvajanju dokumenta te na niz drugih načina kao što su diskusije tijekom konferencija. Veći dio navedenih priloga je sistematiziran i javno objavljen na mrežnim stranicama Hrvatskih voda (Hrvatske vode, 2023e) a ovim putem se autori rada zahvaljuju svima na konstruktivnim doprinosima u nadi za još boljom suradnjom u slijedećem planskom ciklusu.

LITERATURA

- [1] Hrvatske vode, 2023a, Detaljni prikaz stanja vodnih tijela površinskih voda, veljača, 2023. <https://voda.hr/sites/default/files/2023-07/Detaljni%20prikaz%20stanja%20vodnih%20tijela%20povr%C5%A1inskih%20voda.pdf>
- [2] Hrvatske vode, 2023b: Hrvatske vode, Plan upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027. Detaljni prikaz rizika nepostizanja okolišnih ciljeva vodnih tijela površinskih voda, veljača, 2023., <https://voda.hr/sites/default/files/2023-07/Detaljni%20prikaz%20rizika%20nepostizanja%20okoli%C5%A1nih%20ciljeva%20vodnih%20tijela%20povr%C5%A1inskih%20voda.pdf>
- [3] Hrvatske vode, 2023c: Hrvatske vode, Plan upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027. Detaljni prikaz odstupanja od okolišnih ciljeva vodnih tijela površinskih voda, veljača, 2023., <https://voda.hr/sites/default/files/2023-07/Detaljni%20prikaz%20odstupanja%20od%20okoli%C5%A1nih%20ciljeva%20vodnih%20tijela%20povr%C5%A1inskih%20voda.pdf>
- [4] Hrvatske vode, 2023d: Registar vodnih tijela, <https://voda.hr/hr/registar-vodnih-tijela-2022-2027>, kolovoz 2023.
- [5] Hrvatske vode, 2023e: Plan 2022. - 2027., <https://voda.hr/hr/plan-2022-2027>, kolovoz 2023.
- [6] Vlada Republike Hrvatske, 2023a, Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o standardu kakvoće voda (Narodne novine, broj 20/23)
- [7] Vlada Republike Hrvatske, 2023b, Plan upravljanja vodnim područjima do 2027. (Narodne novine, broj 84/23)

AUTORI

dr. sc. Darko Barbalić, dipl. ing. građ.^a

Đorđa Medić, dipl. ing. kem.^a

mr. sc. Marina Barbalić, dipl. ing. građ.^c

mr. sc. Sanja Barbalić, dipl. ing. građ.^a

^a Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10 000, Hrvatska darko.barbalic@voda.hr

^a Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10 000, ^a Hrvatska dorda.medic@voda.hr

^c Hrvatske vode, Sektor razvitka, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10 000, Hrvatska marina.barbalic@voda.hr

^a Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10 000, ^a Hrvatska sanja.barbalic@voda.hr



R 4.03.

DOBRO EKOLOŠKO STANJE ILI DOBAR EKOLOŠKI POTENCIJAL KAO JEDAN OD OKOLIŠNIH CILJEVA

Valerija Musić, Tina Miholić, Marija Šikoronja

SAŽETAK: Okvirna direktiva o vodama određuje ciljeve zaštite vodenog okoliša, a to su za prirodna vodna tijela površinskih voda postizanje najmanje dobrog ekološkog i kemijskog stanja, a za znatno promijenjena i umjetna vodna tijela postizanje najmanje dobrog ekološkog potencijala i dobrog kemijskog stanja. Hrvatska danas ima gotovo u potpunosti razvijen sustav klasifikacije ekološkog stanja i potencijala, koji je usklađen s odredbama i definicijama Okvirne direktive o vodama i usporediv je sa sustavima ostalih zemalja članica. U ovom članku se daje pregled elemenata za klasifikaciju ekološkog stanja i potencijala, opisani su referentni uvjeti u prirodnim vodnim tijelima i maksimalan ekološki potencijal u znatno promijenjenim i umjetnim vodnim tijelima te se daje pregled postupka klasifikacije ekološkog stanja i ekološkog potencijala.

KLJUČNE RIJEČI: Ekološko stanje, Ekološki potencijal, Referentni uvjeti, Maksimalan ekološki potencijal, Klasifikacija, Plan upravljanja vodnim područjima

GOOD ECOLOGICAL STATUS OR GOOD ECOLOGICAL POTENTIAL AS ONE OF ENVIRONMENTAL OBJECTIVES

ABSTRACT: The Water Framework Directive determines the objectives of the protection of aquatic ecosystems. For natural surface water bodies, this mean the achievement of at least good ecological and chemical status, while for heavily modified or artificial water bodies, it is the achievement of at least good ecological potential and good chemical status. At present, Croatia has almost a fully developed classification system for ecological status and potential, which is harmonised with the provision and definitions in the Water Framework Directive and comparable to the systems of other member states. This paper provides an overview of elements in the classification of ecological status and potential. It further describes the reference conditions in natural water bodies and maximum ecological potential in heavily modified and artificial water bodies, as well as offers an overview of the procedure for the classification of ecological status and ecological potential.

KEYWORDS: Ecological status, Ecological potential, Reference conditions, Maximum ecological potential, Classification, River Basin Management Plan

1. UVOD

Direktiva 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2000. o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike (Okvirna direktiva o vodama) (SL L 327, 22.12.2000.), kao i Direktiva Komisije 2014/101/EU od 30. listopada 2014. o izmjeni Direktive 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike (SL L 311, 31. 10. 2014.) (Okvirna direktiva o vodama) određuje ciljeve zaštite vodenog okoliša, a to su za prirodna vodna tijela površinskih voda postizanje najmanje dobrog ekološkog i kemijskog stanja, a za znatno promijenjena i umjetna vodna tijela postizanje najmanje dobrog ekološkog potencijala i dobrog kemijskog stanja. Ekološko stanje i ekološki potencijal predstavljaju kakvoću strukture i funkcioniranja vodenih ekosustava povezanih s površinskim vodama. Za prirodna vodna tijela se ekološko stanje utvrđuje u odnosu na referentno, nenarušeno ili gotovo nenarušeno stanje. Za znatno promijenjena i umjetna vodna tijela ekološki potencijal se utvrđuje u odnosu na maksimalan ekološki potencijal koji je moguće doseći, s obzirom na znatno promijenjene ili umjetne karakteristike vodnog tijela potrebne za njegovu namjenu ili za zaštitu šireg okoliša.

Razvoj ekoloških klasifikacijskih sustava predstavljao je jednu od najzahtjevnijih i najizazovnijih cjelina u implementaciji Okvirne direktive o vodama (CIS vodič br. 13, 2005), jer je sustav ekološke klasifikacije prvi puta uveden u europsko zakonodavstvo i zemlje članice su trebale uložiti veliki napor u razvoj tehničkih znanja i iskustava. Isti put je prošla i Hrvatska, uspostavljanjem i provedbom sve opsežnijeg monitoringa, širokim angažmanom znanstvenih i stručnih potencijala u zemlji i izvan nje i ulaganjem u stjecanje specifičnih znanja i u provedbu niza projekata. Svi ovi napori su doveli do toga da Hrvatska danas ima gotovo u potpunosti razvijen sustav klasifikacije ekološkog stanja i potencijala, koji je usklađen s odredbama i definicijama Okvirne direktive o vodama i usporediv je sa sustavima ostalih zemalja članica. Klasifikacijski sustav ekološkog stanja za biološke elemente kakvoće je u konačnici prihvaćen i od strane Europske komisije.

Sustavi ocjene ekološkog stanja i ekološkog potencijala propisani su u Uredbi o standardu kakvoće voda (Narodne novine, br. 96/19, 20/23 i 50/23 - ispravak) i pratećim metodološkim priručnicima. U razvoju su još klasifikacijski sustavi ekološkog potencijala prijelaznih i priobalnih vodnih tijela i klasifikacijski sustavi za hidromorfološke elemente kakvoće u jezerima te prijelaznim i priobalnim vodama.

2. ELEMENTI ZA OCJENU EKOLOŠKOG STANJA I EKOLOŠKOG POTENCIJALA

Ekološko stanje i ekološki potencijal površinskih voda ocjenjuju se u odnosu na biološke, hidromorfološke te osnovne fizikalno - kemijske i kemijske elemente koji prate biološke elemente. Biološki elementi kakvoće obuhvaćaju vodenu floru (fitoplankton, makrofita i fitobentos), faunu makrozoobentosa i riblju faunu. Mjere se pokazateljima kao što su sastav svojti i biomasa te su indikatori promjena u vodenom ekosustavu u odnosu na referentne uvjete. Najčešće se radi o multimetrijskim indeksima sastavljenima od pojedinačnih indeksa koji mogu ukazivati na istu vrstu opterećenja, kao što su opterećenje organskim tvarima, opterećenje hranjivim tvarima ili, pak, hidromorfološke promjene (Tablica 1). Ukoliko se radi o više različitih vrsta opterećenja čiji se utjecaj ne može odvojeno kvan-

tificirati, koristi se multimetrijski indeks opće degradacije. Multimetrijski indeks opće degradacije za ribe u rijekama, primjerice, ovisno o tipu rijeke, odgovara na promjenu okolišnih uvjeta temperature, otopljenog kisika, iona amonija, nitrata, ukupnog dušika, ukupnog fosfora, suspendiranih tvari ili udjela stranih vrsta.

Tablica 1. Pokazatelji i indeksi ekološkog stanja za biološke elemente kakvoće

Element kakvoće	Pokazatelj/indeks	Opterećenje na koje ukazuje pojedini biološki indeks
RIJEKE		
fitoplankton	Riječni potamoplanktonski indeks (HRPI)	opterećenje hranjivim tvarima
fitobentos	Trofički indeks dijatomeja (TIDHR)	opterećenje hranjivim tvarima
makrozoobentos	Hrvatski saprobni indeks za makrozoobentos (SIHR)	opterećenje organskim tvarima
	Multimetrijski indeks opće degradacije makrozoobentosa rijeka (MMIR)	hidromorfološke promjene, opća degradacija
makrofita	Referentni indeks (RI-MHR)	opterećenje hranjivim tvarima, opća degradacija
ribe	Hrvatski multimetrijski indeks za ribe u rijekama (CFIR)	hidromorfološke promjene, opća degradacija
JEZERA		
fitoplankton	Indeks za fitoplankton jezera (HLPI)	opterećenje hranjivim tvarima
fitobentos	Multimetrijski indeksi za fitobentos jezera (MIL, MIB, IPSITI, ovisno o tipu jezera)	opterećenje hranjivim tvarima
makrozoobentos	Multimetrijski indeks za makrozoobentos jezera (MMIL)	opća degradacija
makrofita	Biocenoški indeks (BMHR) u prirodnim jezerima / Referentni indeks (RI-MHR) u znatno promijenjenim i umjetnim jezerima	opća degradacija, opterećenje hranjivim tvarima
ribe	Hrvatski multimetrijski indeks za ribe u jezerima (CFIL)	opterećenje hranjivim tvarima, opća degradacija
PRIJELAZNE VODE		
fitoplankton	Multimetrijski indeks fitoplanktona (MPI)	opterećenje hranjivim tvarima
makrofita – morske cvjetnice	<i>Zostera noltei</i> multimetrijski indeks (ZONOMI)	opća degradacija
makrozoobentos	AMBI - biotički indeks integriteta morskih bentoskih zajednica	opterećenje organskim tvarima, opća degradacija
ribe	Modificirani indeks za ribe u estuarnim područjima (EFI)	hidromorfološke promjene, opća degradacija

Element kakvoće	Pokazatelj/indeks	Opterećenje na koje ukazuje pojedini biološki indeks
PRIOBALNE VODE		
biomasa fitoplanktona	klorofila	opterećenje hranjivim tvarima
makroalge	Kartiranje litoralnih zajednica (CARLIT)	opterećenje hranjivim tvarima, opća degradacija
morske cvjetnice	<i>Posidonia oceanica</i> multivarijantni indeks (POMI)	opća degradacija
makrozoobentos	Multimetrijski AMBI - biotički indeks integriteta morskih bentoskih zajednica	opterećenje organskim tvarima, opća degradacija

Osnovni fizikalno - kemijski i kemijski elementi uglavnom obuhvaćaju pokazatelje koji se već dugo koriste za ocjenu kakvoće voda izloženih unosu onečišćenja. To su pokazatelji toplinskih uvjeta, uvjeta režima kisika, saliniteta, acidifikacije i hranjivih tvari, a uključuju i specifične onečišćujuće tvari koje se u riječnom slivu ispuštaju u znatnijim količinama. Za ove posljednje tvari se na europskoj razini predlaže da se, u svrhu učinkovitijeg i bržeg odgovora na novonastale rizike i veće zaštite građana i prirodnih ekosustava, koriste za ocjenu kemijskog stanja površinskih vodnih tijela, zajedno s prioritetnim i prioritarno opasnim tvarima.

Hidromorfološki elementi kakvoće se odnose na hidrološke i morfološke uvjete za razvoj biotičkih zajednica u vodenim staništima. U rijekama se uz hidrološki režim (količina i dinamika toka i veza s podzemnim vodama) i morfološke uvjete dodatno ocjenjuje element kontinuiteta rijeke, a u prijelaznim i priobalnim vodama se umjesto hidrološkog režima ocjenjuje plimni režim (slatkovodni tok, izloženost valovima i smjer prevladavajućih struja).

Razvojem klasifikacijskih sustava ekološkog stanja i potencijala rastao je i broj elemenata kakvoće temeljem kojih je ocijenjeno ekološko stanje i ekološki potencijal kroz tri ciklusa planova upravljanja vodnim područjima (Tablica 2). Konačno je u Planu upravljanja vodnim područjima do 2027. ocjena napravljena temeljem svih elemenata propisanih Okvirnom direktivom o vodama, uz izuzetak hidromorfoloških elemenata plimnog režima u prijelaznim i priobalnim vodama.

Tablica 2. Elementi kakvoće korišteni za ocjenu ekološkog stanja / potencijala u tri ciklusa planova upravljanja vodnim područjima (PUVP)

Elementi kakvoće	PUVP 2013. - 2015.	PUVP 2016. - 2021.	PUVP 2022. - 2027.
RIJEKE			
Biološki elementi			
fitoplankton		Riječni potamoplanktonski indeks (HRPI)	Riječni potamoplanktonski indeks (HRPI)
		Klorofil a	
fitobentos		Trofički indeks dijatomeja (TIDHR)	Trofički indeks dijatomeja (TIDHR)
		Nedijatomejski indeks (NeD)	
		Saprobni indeks (SIHR)	

Elementi kakvoće	PUVP 2013. - 2015.	PUVP 2016. - 2021.	PUVP 2022. - 2027.
makrozoobentos	Hrvatski saprobni indeks (SIHR)	Hrvatski saprobni indeks (SIHR)	Hrvatski saprobni indeks za makrozoobentos (SIHR)
		Ukupan broj svojti (UBS)	Multimetrijski indeks opće degradacije makrozoobentosa rijeka (MMIR)
		Udio oligosaprobni indikatora (OSI%)	
		BMWP bodovni indeks (BMWP)	
		Prošireni biotički indeks (PBI)	
		Shannon - Wiener indeks raznolikosti (H)	
		Ritron indeks (RI)	
		Udio svojti koje preferiraju šljunak, litoral i pjeskoviti tip supstrata Alkal+Lit+Psa (ALP%)	
		Udio pobirača/sakupljača (P/S%)	
		Indeks biocenotičkog područja (IBR)	
		Broj svojti Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera u makrozoobentosu (EPT-S)	
		Udio predstavnika skupina Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera u makrozoobentosu (EPT%)	
		Broj porodica (BP)	
		Udio Oligochaeta u makrozoobentosu (OLI%)	
	makrofita		Referentni indeks (RI-MHR)
		Biocenoški indeks (BMHR)	
ribe		Kvantitativni indeks biotičkog inetgriteta (IBIHR)	Hrvatski multimetrijski indeks za ribe u rijekama (CFIR)
Fizikalno-kemijski elementi			
			Temperatura
			Salinitet
		pH	pH
	BPK5	BPK5	BPK5
	KPK-Mn	KPK-Mn	KPK-Mn
		Amonij	Amonij
		Nitrati	Nitrati
	Ukupni dušik	Ukupni dušik	Ukupni dušik
		Ortofosfati	Ortofosfati
	Ukupni fosfor	Ukupni fosfor	Ukupni fosfor
Hidromorfološki elementi			
	Hidrološki režim	Hidrološki režim	Hidrološki režim
	Kontinuitet rijeke	Kontinuitet rijeke	Kontinuitet rijeke
	Morfološki uvjeti	Morfološki uvjeti	Morfološki uvjeti
JEZERA			

Elementi kakvoće	PUVP 2013. - 2015.	PUVP 2016. - 2021.	PUVP 2022. - 2027.
Biološki elementi			
fitoplankton		Klorofil a	Indeks za fitoplankton jezera (HLPI)
		Ukupna masa fitoplanktona	
		Udio taksonomskih skupina fitoplanktona	
fitobentos		Trofički indeks dijatomeja za jezera (TIDHR)	Multimetrijski indeksi za fitobentos jezera (MIL, MIB, IPSITI, ovisno o tipu jezera)
makrozoobentos		Bentički trofički indeksi	Multimetrijski indeks za makrozoobentos jezera (MMIL)
makrofitna		Biocenoški indeks (BMHR)	Biocenoški indeks (BMHR) u prirodnim jezerima / Referentni indeks (RI-MHR) u znatno promijenjenim i umjetnim jezerima
ribe			Hrvatski multimetrijski indeks za ribe u jezerima (CFIL)
Fizikalno - kemijski elementi			
			Temperatura
			Salinitet
			pH
		Secchi prozirnost	Secchi prozirnost
	BPK5		BPK5
	KPK-Mn	KPK-Mn	KPK-Mn
		Nitrati	Nitrati
	Ukupni dušik		Ukupni dušik
	Ukupni fosfor	Ukupni fosfor	Ukupni fosfor
Hidromorfološki elementi			
	Hidrološki režim	Hidrološki režim	Hidrološki režim
	Morfološki uvjeti	Morfološki uvjeti	Morfološki uvjeti
PRIJELAZNE VODE			
Biološki elementi			
fitoplankton	klorofil a	klorofil a	Multimetrijski indeks fitoplanktona (MPI)
makrofitna – morske cvjetnice		Zostera noltei multimetrijski indeks (ZONOMI)	Zostera noltei multimetrijski indeks (ZONOMI)
		Cymodocea nodosa indeks (Cymox)	
makrozoobentos	Multimetrijski AMBI - biotički indeks integriteta morskih bentoskih zajednica (M-AMBI)	Multimetrijski AMBI - biotički indeks integriteta morskih bentoskih zajednica (M-AMBI)	AMBI – biotički indeks integriteta morskih bentoskih zajednica
ribe	Modificirani indeks za ribe u estuarnim područjima (EFI)	Modificirani indeks za ribe u estuarnim područjima (EFI)	Modificirani indeks za ribe u estuarnim područjima (EFI)

Elementi kakvoće	PUVP 2013. - 2015.	PUVP 2016. - 2021.	PUVP 2022. - 2027.
Fizikalno - kemijski elementi			
		Secchi prozirnost	Secchi prozirnost
	Zasićenje kisikom	Zasićenje kisikom	Zasićenje kisikom
			Salinitet
	Otopljeni anorganski dušik	Otopljeni anorganski dušik	Otopljeni anorganski dušik
			Ukupni dušik
	Ortofosfati	Ortofosfati	Ortofosfati
	Ukupni fosfor	Ukupni fosfor	Ukupni fosfor
Hidromorfološki elementi			
	Morfološki uvjeti	Morfološki uvjeti	Morfološki uvjeti
PRIOBALNE VODE			
Biološki elementi			
biomasa fitoplanktona	klorofil a	klorofil a	klorofil a
makroalge	Kartiranje litoralnih zajednica (CARLIT)	Kartiranje litoralnih zajednica (CARLIT)	Kartiranje litoralnih zajednica (CARLIT)
morske cvjetnice	Posidonia oceanica multivarijantni indeks (POMI)	Posidonia oceanica multivarijantni indeks (POMI)	Posidonia oceanica multivarijantni indeks (POMI)
makrozoobentos	Multimetrijski AMBI – biotički indeks integriteta morskih bentoskih zajednica	Multimetrijski AMBI – biotički indeks integriteta morskih bentoskih zajednica	Multimetrijski AMBI – biotički indeks integriteta morskih bentoskih zajednica
Fizikalno - kemijski elementi			
			Temperatura
		Secchi prozirnost	Secchi prozirnost
	Zasićenje kisikom	Zasićenje kisikom	Zasićenje kisikom
			Salinitet
	Otopljeni anorganski dušik	Otopljeni anorganski dušik	Otopljeni anorganski dušik
			Ukupni dušik
	Ortofosfati	Ortofosfati	Ortofosfati
	Ukupni fosfor	Ukupni fosfor	Ukupni fosfor
Hidromorfološki elementi			
	Morfološki uvjeti	Morfološki uvjeti	Morfološki uvjeti

3. REFERENTNI UVJETI I MAKSIMALAN EKOLOŠKI POTENCIJAL

Ekološko stanje površinskih voda ovisi o nizu čimbenika, prirodnih i antropogeno uvjetovanih (Hrvatske vode, 2023.). Zbog prirodne biološke raznolikosti uvedena je tipizacija površinskih voda i ocjenjivanje stanja voda s obzirom na odstupanje od referentnih uvjeta određenih za svaki tip površinske vode. Referentne uvjete čine vrijednosti bioloških metrika i pratećih fizikalno - kemijskih i hidromorfoloških elemenata određenih na referentnim mjestima odnosno u uvjetima vrlo niskog opterećenja; kada nema ili su vrlo male promjene prirodnih uvjeta. U slučajevima kada nema odgovarajućih tip - specifičnih referentnih mjesta bez značajnijih antropogenih opterećenja, na kojima bi se pouzdano utvrdile referentne vrijednosti elemenata kakvoće, referentni uvjeti su određeni na temelju

prostornih i povijesnih podataka, te na temelju ekspertnih procjena.

U hidrografskoj riječnoj mreži Hrvatske pronađeni su referentni lokaliteti za dvanaest tipova rijeka, koji su smješteni uglavnom u tipovima malih i srednje velikih tekućica. Tipovi velikih i vrlo velikih tekućica, kao i tipovi nizinskih aluvijalnih tekućica u velikoj su mjeri promijenjeni zbog utjecaja ljudskih aktivnosti te za njih nisu pronađena referentna mjesta koja bi poslužila za definiranje referentnih uvjeta. Za njih su referentne vrijednosti dobivene modeliranjem dostupnih rezultata mjerenja te na temelju literaturnih podataka.

Referentni uvjeti za, primjerice, tip gorskih i prigorskih malih tekućica na silikatnoj ili vapnenačkoj podlozi definirani su supstratom sastavljenim od makrolitala, mezolitala, mikrolitala, akala i psamala (Slika 1). U fauni bentičkih beskralješnjaka velika je brojnost predstavnika skupine Crustacea, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera. Makrofitska vegetacija prirodno izostaje ako su zasjenjeni potoci, a ako ima makrofita onda je prisutna zajednica tipa *Platyhypnidium riparioides* - *Fontinalis antipyretica*. S obzirom na faunu riba, riječ je o salmonidnim vodama, s obveznom prisutnošću pastrve ili ciprinidnim vodama s reofilnim vrstama (pijor, peš, potočna mrena, dvoprugasta uklija (Mihaljević i drugi, 2011)).



Slika 1. Duboka rijeka, referentni lokalitet za tip gorskih i prigorskih malih tekućica na silikatnoj ili vapnenačkoj podlozi

Iako su hrvatska prirodna jezera u vrlo dobrom i dobrom stanju prema gotovo svim elementima kakvoće, niti jedno jezero se ne može izdvojiti kao referentno te su za njih referentne vrijednosti rekonstruirane na temelju literaturnih podataka i modeliranjem dostupnih rezultata mjerenja.

U prijelaznim i priobalnim vodama su također izdvojeni referentni lokaliteti s minimalnim antropogenim utjecajem te su referentni uvjeti utvrđeni na temelju povijesnih podataka, rezultata mjerenja s ovih lokaliteta te ekspertne procjene.

Maksimalan ekološki potencijal za znatno promijenjena i umjetna tijela površinskih voda također se utvrđuje za vrijednosti bioloških metrika i pratećih fizikalno - kemijskih i hidromorfoloških elemenata. Okvirna direktiva o vodama definira maksimalan ekološki

potencijal bioloških elemenata kao stanje u kojem vrijednosti odgovarajućih bioloških elemenata kakvoće odražavaju, koliko je to moguće, stanje povezano s najbližim usporedivim tipom površinske vode, u fizikalnim uvjetima koji proizlaze iz umjetno stvorenih ili znatno promijenjenih svojstava vodnog tijela. Maksimalan ekološki potencijal hidromorfoloških elemenata su, pak, hidromorfološki uvjeti proizašli iz utjecaja na površinsko vodno tijelo koje je posljedica umjetnih ili znatno promijenjenih značajki, nakon što su poduzete sve mjere ublažavanja utjecaja kako bi se postiglo stanje najbliže ekološkom kontinuumu, osobito s obzirom na migracije faune i odgovarajuća mrijestilišta i gnjezdilišta.

U Hrvatskoj su utvrđene vrijednosti maksimalnog ekološkog potencijala za tipove znatno promijenjenih i umjetnih tijela rijeka i jezera, uzimajući u obzir značajne hidromorfološke modifikacije nastale uslijed korištenja vodnog tijela. Za rijeke to su promijenjena morfologija, promijenjena uzdužna povezanost toka, velike dnevne promjene protoka i poremećen odnos površinskih i podzemnih voda, a za jezera vrijeme zadržavanja vode i intenzitet fluktuacija i oscilacija vodostaja.

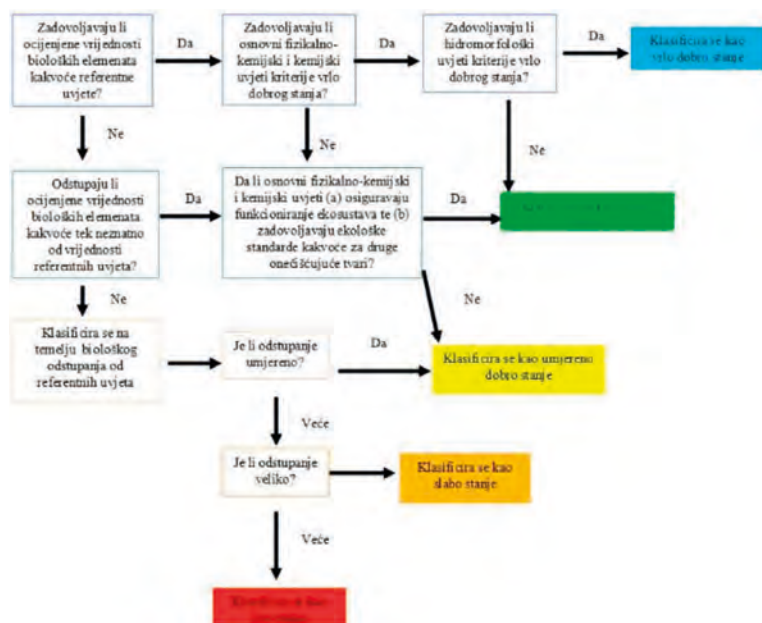
Primjerice u uvjetima maksimalnog ekološkog potencijala za tip srednje velikih znatno promijenjenih tekućica s promijenjenom morfologijom i uzdužnom povezanosti toka (slivno područje 100 - 1.000 km²) (Slika 2) dominiraju morfološki tipovi zajednica s makrofitama plutajućih listova i submerznim makrofitama različitih morfoloških tipova, makrozoobentos relativno velike raznolikosti u kojemu su predstavnici Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera, Coleoptera, Bivalvia i Odonata zastupljeni s 15 ili više svojiti te riblja fauna veće raznolikosti u kojoj su zajednice posve ili uglavnom sastavljene od nativnih vrsta, u kojoj je udio invertivornih vrsta 3 - 5 %, te u kojoj je udio vrsta reda Cyprinoformes do 5 % (Mihaljević i drugi, 2021).



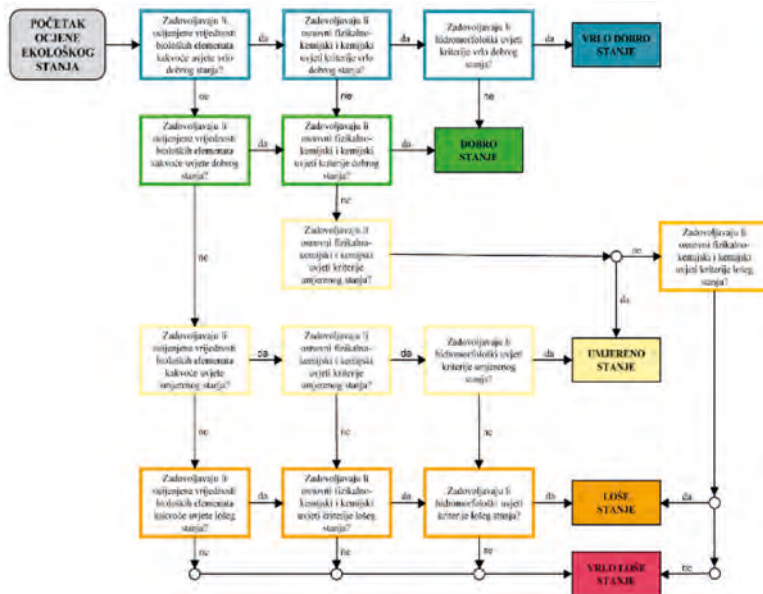
Slika 2. Spojni kanal Kupčina, lokalitet s vrijednostima maksimalnog ekološkog potencijala za tip srednje velikih znatno promijenjenih tekućica s promijenjenom morfologijom i uzdužnom povezanosti toka (slivno područje 100 - 1.000 km²)

4. KLASIFIKACIJA EKOLOŠKOG STANJA I EKOLOŠKOG POTENCIJALA

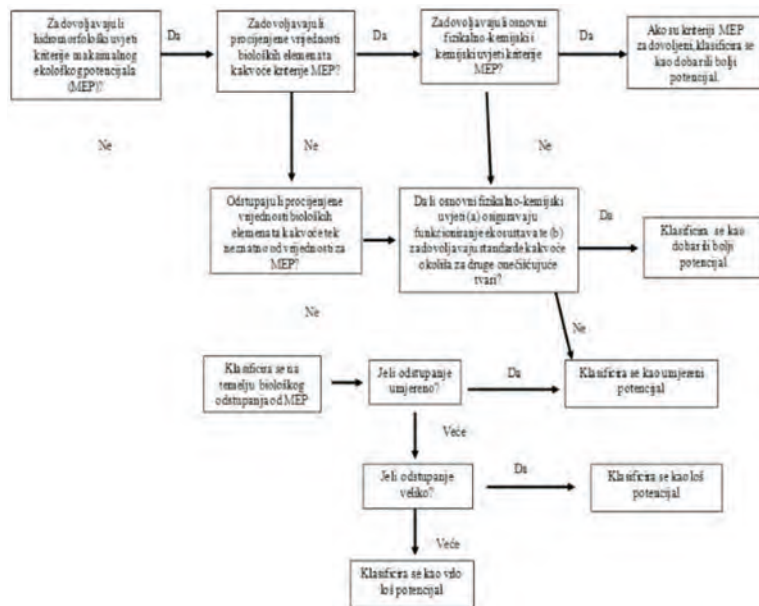
Uredba o standardu kakvoće voda (Narodne novine, br. 96/19, 20/23 i 50/23 - ispravak) propisuje da se ocjena ekološkog stanja i ekološkog potencijala određuje na temelju lošije vrijednosti, uzimajući u obzir ocjenu prema biološkim elementima te osnovnim fizikalno - kemijskim i kemijskim elementima i hidromorfološkim elementima, koji prate biološke elemente. Ovaj koncept ocjene primijenjen je za utvrđivanje ekološkog stanja / potencijala vodnih tijela površinskih voda u novom, važećem Planu upravljanja vodnim područjima. Time su u klasifikaciju značajnije uključeni hidromorfološki elementi kakvoće, koji su u ranijem razdoblju korišteni samo u slučaju kada je utvrđeno vrlo dobro ili dobro stanje prema biološkim elementima kakvoće (Slika 3), te uopće nisu korišteni u ocjeni ekološkog potencijala (Slika 5). Znači da je princip „one out - all out“ proširen i na hidromorfološke elemente, uz jednu iznimku: hidromorfološki elementi ne mogu određivati stanje lošije od dobrog, ako su biološki elementi u dobrom ili vrlo dobrom stanju (Slika 4). Isto vrijedi i za ocjenu ekološkog potencijala: hidromorfološki elementi ne mogu određivati potencijal lošiji od dobrog i boljeg, ako su biološki elementi u dobrom i boljem potencijalu (Slika 6).



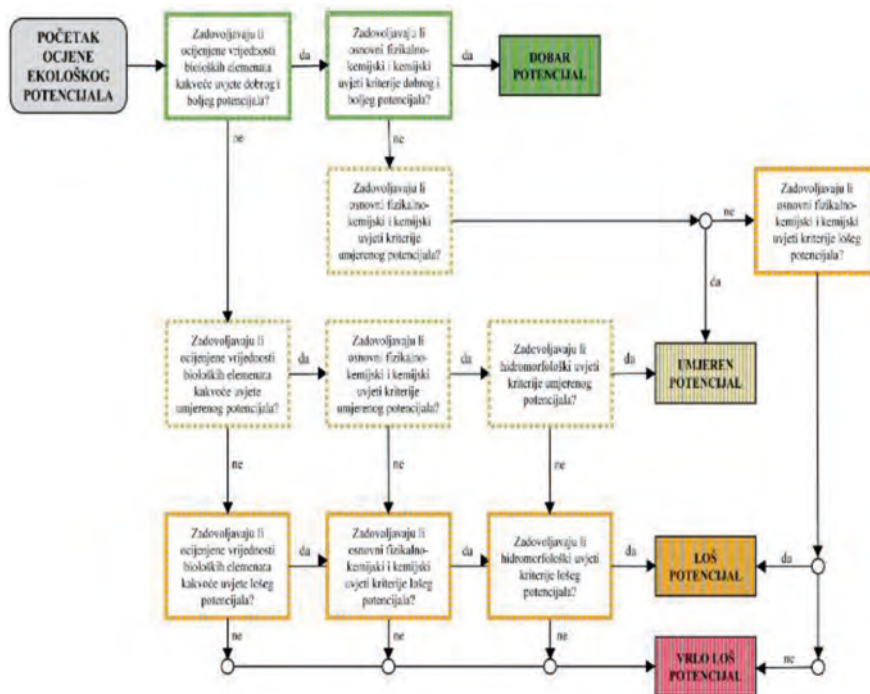
Slika 3. Shematski prikaz klasifikacije ekološkog stanja u površinskim vodama za Plan upravljanja vodnim područjima 2013. - 2015. i Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. (Uredba o standardu kakvoće voda, Narodne novine 73/13)



Slika 4. Shematski prikaz klasifikacije ekološkog stanja u površinskim vodama za Plan upravljanja vodnim područjima do 2027. (Uredba o standardu kakvoće voda, Narodne novine, br. 96/19, 20/23 i 50/23 - ispravak)



Slika 5. Shematski prikaz klasifikacije ekološkog potencijala u površinskim vodama za Plan upravljanja vodnim područjima 2013. - 2015. i Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. (Uredba o standardu kakvoće voda, Narodne novine 73/13)



Slika 6. Shematski prikaz klasifikacije ekološkog potencijala u površinskim vodama za Plan upravljanja vodnim područjima do 2027. (Uredba o standardu kakvoće voda, Narodne novine, br. 96/19, 20/23 i 50/23 - ispravak)

ZAKLJUČAK

U Planu upravljanja vodnim područjima ocjenjuje se ekološko stanje ili ekološki potencijal vodnih tijela i zajedno s kemijskim stanjem mjerodavno je za određivanje programa mjera koje je potrebno provesti na vodnom tijelu. Predstavlja vremenski i prostorno uprosječeno stanje dobiveno modeliranjem stanja utvrđenog na mjernoj postaji i prostorne distribucije točkastih i raspršenih izvora onečišćenja u međuslivu kojemu pripada vodno tijelo, i to stanje se može razlikovati od stanja voda ocijenjenog u točki na temelju rezultata monitoringa (Hrvatske vode, 2023.). Stanje u točki na temelju rezultata monitoringa se utvrđuje na godišnjoj razini kako bi se neposredno pratile promjene koje se mogu događati u vodnom tijelu, bilo da su one posljedica promjene prirodnih uvjeta, utjecaja ljudskih aktivnosti na vodno tijelo, utjecaja provedbe mjera za postizanje okolišnih ciljeva ili utjecaja klimatskih promjena. Ova ocjena se koristi u trogodišnjim izvještajnim ciklusima Plana upravljanja vodnim područjima te u godišnjim ciklusima za potrebe operativnog upravljanja vodama.

LITERATURA

- [1] Europska komisija (2005): *CIS vodič br. 13. - Guidance document n.º 13 Overall approach to the classification of ecological status and ecological potential*, Office for official publications of the European Communities, Luxembourg
- [2] Hrvatske vode (2013): *Plan upravljanja vodnim područjima 2013. - 2015.*, Narodne novine, broj 82/13
- [3] Hrvatske vode (2016): *Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021.*, Narodne novine, broj 66/16
- [4] Hrvatske vode (2023): *Plan upravljanja vodnim područjima do 2027.*, Narodne novine, broj 84/2023
- [5] Mihaljević, Z., Kerovec, M., Alegro, A., Mustafić, P. (2011): *Testiranje bioloških metoda ocjene ekološkog stanja (Okvirna direktiva o vodama, 2000/60/EC) u reprezentativnim slivovima Panonske i Dinaridske ekoregije* (Studija), Prirodoslovno - matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- [6] Mihaljević, Z., Pozojević, I., Vučković, N., Gligora Udovič, M., Žutinić, P., Šušnjara, M., Alegro, A., Buj, I., Zanella, D., Čaleta, M., Mustafić, P., Marčić, Z., Ivić, L. (2021): *Klasifikacijski sustav ekološkog potencijala za umjetna i znatno promijenjena tijela površinskih voda - III. dio: Tekućice Panonske ekoregije* (Studija), Prirodoslovno - matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

AUTORI

mr. sc. Valerija Musić ^a

Tina Miholić, dipl. ing. biol. ^a

Marija Šikoronja, dipl. ing. biol. ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb 10000, Hrvatska,
valerija.music@voda.hr, tina.miholic@voda.hr, marija.sikoronja@voda.hr



R 4.04.

RAZVOJ KLASIFIKACIJSKIH SUSTAVA ZA BIOLOŠKE ELEMENTE KAKVOĆE I PROVEDBA POST - INTERKALIBRACIJSKIH POSTUPAKA

Marija Šikoronja, Valerija Musić, Tina Miholić, Igor Stanković

SAŽETAK: Okvirna direktiva o vodama ima za cilj postizanje najmanje dobrog ekološkog stanja odnosno potencijala vodnih tijela. Zemlje članice imaju obvezu razvoja nacionalnih metoda ekološke klasifikacije, čiji rezultati moraju biti usporedivi. Dosljednost i usporedivost rezultata ocjene ekološkog stanja za biološke elemente kakvoće se postiže kroz postupak interkalibracije. U ovom članku se daje pregled postupaka interkalibracije koje je Republika Hrvatska provela u vremenu od pridruživanja Europskoj uniji, a čiji rezultati su objavljeni u Odlukama o utvrđivanju vrijednosti klasifikacijskih sustava praćenja u državama članicama kao rezultat postupka interkalibracije (prva - 2008/915/EC, druga - 2013/480/EU, treća - 2018/229/EU, četvrta - u postupku donošenja).

KLJUČNE RIJEČI: Okvirna direktiva o vodama, Ekološko stanje, Biološki klasifikacijski sustav, Intercalibracijski postupak

DEVELOPMENT OF CLASSIFICATION SYSTEMS FOR BIOLOGICAL QUALITY ELEMENTS AND IMPLEMENTATION OF POST - INTERCALIBRATION EXERCISES

ABSTRACT: The Water Framework Directive's objective is the achievement of at least good ecological status or potential of water bodies. The Member States have the obligation to develop national ecological classification methods whose results must be comparable. The consistency and comparability of ecological status assessment results for biological quality elements is achieved through an intercalibration exercise. This paper provides an overview of intercalibration exercises that the Republic of Croatia conducted since its accession to the European Union. Their results were published in the Commission decisions establishing the values of the Member States monitoring classification systems as a result of the intercalibration exercise (the first one - 2008/915/EC, the second one - 2013/480/EU, the third one - 2018/229/EU, the fourth one - in the adoption procedure).

KEYWORDS: Water Framework Directive, Ecological status, Biological classification system, Intercalibration exercise

1. UVOD

Direktiva 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2000. o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike (Okvirna direktiva o vodama) (SL L 327, 22.12.2000.), kao i Direktiva Komisije 2014/101/EU od 30. listopada 2014. o izmjeni Direktive 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike (SL L 311, 31. 10. 2014.) (ODV) ima za cilj postizanje najmanje dobrog ekološkog stanja prirodnih vodnih tijela. Utvrđivanje ekološkog stanja vodnog tijela temelji se, između ostalog, na ocjeni bioloških elemenata kakvoće (BEK) koji uključuju fitoplankton, fitobentos, makrofita, makrozoobentos i ribe. U tom procesu svaka zemlja članica koristi vlastitu nacionalnu metodologiju ocjene koja prati smjernice ODV-a, a konačan rezultat se prikazuje kao omjer ekološke kakvoće (OEK) koji prikazuje odnos izmjerenih vrijednosti bioloških elemenata i vrijednosti bioloških elemenata u referentnim uvjetima. ODV propisuje usklađenje nacionalnih granica klasa vrlo dobrog i dobrog stanja te dobrog i umjerenog stanja s normativnim definicijama i s nacionalnim granicama drugih zemalja članica kroz postupak interkalibracije. Interkalibracija se provodi zasebno za različite kategorije voda, rijeke, jezera, prijelazne i priobalne vode te je dodatno stratificirana povezivanjem antropogenih pritisaka s BEK-ovima (Poikane i drugi, 2014). Cilj interkalibracijskog postupka je postizanje dosljednosti i usporedivosti rezultata ocjene sustava monitoringa i ocjene ekološkog stanja za biološke elemente kakvoće koji čine osnovu planova upravljanja vodnim područjima.

Interkalibracijski proces se na europskoj razini odvijao u 3 ciklusa (2004. - 2007. godina, 2008. - 2011. godina, 2015. - 2018. godina). Rezultati su objavljeni u, trećoj po redu, Odluci Europskog parlamenta i Vijeća o utvrđivanju, u skladu s Direktivom 2000/60/EZ, vrijednosti klasifikacijskih sustava praćenja u državama članicama kao rezultat postupka interkalibracije (2018/229/EU), u daljnjem tekstu Odluka. Svaki pojedinačni postupak je vođen u okviru geografskih interkalibracijskih grupa (GIG) koje čine države s vodnim sustavima sličnih biogeofizičkih tipova, odnosno sa zajedničkim interkalibracijskim tipovima (CIS vodič br. 14., 2011).

Za umjetna i znatno promijenjena vodna tijela površinskih voda ODV ima za cilj postizanje dobrog ekološkog potencijala, koji se, kao i ekološko stanje, temelji na ocjeni BEK fitoplankton, fitobentos, makrofita, makrozoobentos i ribe. Zahtjevi za interkalibraciju specificirani u Dodatku V 1.4.1 ODV-a primjenjuju se i na umjetna i znatno promijenjena vodna tijela. Zbog toga je planiran proces interkomparacije, odnosno usporedbe pristupa koje koriste zemlje članice za definiranje maksimalnog i dobrog ekološkog potencijala za zajedničko korištenje voda (CIS vodič br. 37, 2019) te su započete aktivnosti prikupljanja informacija od zemalja članica (Kampa i Rouillard, 2021).

U tijeku je donošenje nove Odluke o vrijednostima novih i / ili noveliranih klasifikacijskih sustava praćenja u državama članicama koje su rezultat interkalibracijskih postupaka provedenih u vremenu od donošenja prethodne Odluke.

2. INTERKALIBRACIJSKI POSTUPCI USKLAĐENJA NACIONALNE KLASIFIKACIJE

Zbog kasnijeg pridruživanja Europskoj uniji Republika Hrvatska do 1. srpnja 2013. nije imala obavezu sudjelovanja u interkalibracijskom procesu. Dobrovoljno je sudjelovala u

onim interkalibracijskim postupcima u kojima je mogla participirati s dovoljno kvalitetnih podataka. Na taj način su interkalibrirani klasifikacijski sustavi za fitoplankton, makroalge i morske cvjetnice u priobalnim vodama te klasifikacijski sustavi za fitoplankton, fitobentos i makrozoobentos u vrlo velikim rijekama (Tablica 1) (Hrvatske vode, 2021). Republika Hrvatska je sudjelovala i u interkalibracijskom postupku za BEK ribe u vrlo velikim rijekama (X-GIG), koji je započeo 2015. godine i uspješno dovršen početkom 2022. godine.

Za ostale klasifikacijske sustave Republika Hrvatska je samostalno provela post - interkalibracijske postupke u skladu s procedurom opisanom u CIS vodiču br. 30. (CIS vodič br. 37, 2015). Tijekom tog procesa u 2020. godini su uspješno interkalibrirani klasifikacijski sustavi u rijekama za fitobentos, makrofita i makrozoobentos, dok su početkom 2021. godine uspješno interkalibrirani i klasifikacijski sustavi za ribe u rijekama u Dunavskoj i Mediteranskoj grupi (CROSS GIG). Jednako tako su uspješno interkalibrirane metode za fitobentos u jezerima i makrozoobentos u priobalnim vodama.

Za klasifikacijske sustave u jezerima (osim fitobentosa) i prijelaznim vodama, zbog nemogućnosti interkalibracije¹ unutar relevantnog GIG-a, proveden je postupak prijave metode Europskoj komisiji te su sve metode dobile potvrdu o usklađenosti s normativnim zahtjevima ODV-a, odnosno smatraju se interkalibriranim (Hrvatske vode, 2022).

Tablica 1. Vrijeme i način provedbe interkalibracije za sve biološke elemente kakvoće u svim cjelinama površinskih voda u Republici Hrvatskoj

Cjelina površinske vode	Fitoplankton	Fitobentos	Makrofita	Makrozoobentos	Ribe
Rijeke	Vrlo velike rijeke 2016 ^a	Vrlo velike rijeke 2016 ^b ; ostale rijeke 2020 ^b	Ostale rijeke 2020 ^b	Vrlo velike rijeke 2016 ^a ; ostale rijeke 2020 ^b	Vrlo velike rijeke 2021 ^a ; ostale rijeke 2021 ^b
Jezeri	2020 ^c	2020 ^b	2020 ^c	2020 ^c	2020 ^c
Prijelazne vode	2018 ^c	-	2018 ^c	2019 ^c	2017 ^c
Priobalne vode	2011 ^a (II.A) 2021 ^b (III.W)	-	2011 ^a	2021 ^b	-

^a Tijekom redovnog procesa interkalibracije;

^b Tijekom post - interkalibracijskog procesa;

^c Metodu nije bilo moguće interkalibrirati, ali je prijavljena Europskoj komisiji i dobila odobrenje

Sve granice klasa bioloških elemenata kakvoće koje su prošle post - interkalibracijski postupak i postupak prihvaćanja od strane Europske komisije, propisuju se u Dodatku Odluke i u izmjenama i dopunama Uredbe o standardu kakvoće voda (Narodne novine, br. 96/19, 20/23 i 50/23 - ispravak), u daljnjem tekstu nove Uredbe o standardu kakvoće

1 Interkalibraciju nije moguće provesti kad u interkalibracijskoj skupini nema nacionalnih metoda za iste zajedničke tipove, kad nacionalna metoda ne odgovara na isto opterećenje te kad ne slijedi isti klasifikacijski koncept.

voda, a klasifikacijski sustavi u novoj Metodologiji uzorkovanja, laboratorijskih analiza i određivanja omjera ekološke kakvoće, koja se donosi temeljem članka 18. nove Uredbe o standardu kakvoće voda. Izrada klasifikacijskog sustava ekološkog potencijala za akumulacije i umjetne stajačice u Hrvatskoj je završena i on je propisan u novoj Uredbi o standardu kakvoće voda. Za rijeke, prijelazne i priobalne vode klasifikacijski sustavi su još u izradi.

2.1. Rijeke

Tipizacija tekućica provedena je u tekućicama sa slivnom površinom većom od 10 km². Interkalibracija klasifikacijskih sustava za nacionalne tipove rijeka koji imaju iste ili približno iste abiotičke karakteristike provedena je u okviru Istočno - kontinentalnog i Sredozemnog GIG-a, kako je definirano u Odluci. Nakon analize nacionalne biotičke i abiotičke tipologije utvrđeno je da se određeni biotički tipovi trebaju raščlaniti prema abiotičkim karakteristikama kako bi bili svrstani u odgovarajući interkalibracijski tip. Na ovaj način se broj postojećih biotičkih tipova povećao s 28 na 35, od kojih je za pet tipova odlučeno da se ne mogu svrstati niti u jedan interkalibracijski tip (označeni s N/A u Tablici 2).

Tablica 2. Interkalibracija klasifikacijskih sustava bioloških elemenata kakvoće u nacionalnim tipovima tekućica

INTERKALIBRACIJSKI TIP	E2	E2	E3	E3	E3	EX5	EX5	EX5	EX5	EX6	EX7	EX8	EX8	EX8	L2	L2	L2	M1	M1	M1	M1	M2	M2	M2	M2	M2	M5	M5	M5	N/A	N/A	N/A	N/A			
HRVATSKI TIP, 2013. (28)	3B	4	3B	4	5A	2A	2B	3A	3B	1	6	7	8	9	5B	5C	5D	11A	11	14	15A/15B	17	12	13	13A	14	15B	18	16A	16B	19	8	10A	10B	11	14
HRVATSKI TIP, 2020. (35)	3C	4A	3D	4B	4C	2A	2B	3A	3B	6	7	8A	9	5B	5C	5D	11A	14A	15A	17	12	13	13A	14B	15B	18	16A	16B	19	8B	10A	10B	11B	14C		
fitoplankton														X	X	X																				
fitobentos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
makrofita	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
makrozoobentos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ribe	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Legenda:

	interkalibrirano
	primjenjuje se interkalibrirana metoda za nacionalni tip HR-R_5C
	razvijena metoda usklađena s ODV, metoda se ne interkalibrira
	ne koristi se u ocjeni stanja, osim tip 5B rijeka Sava (od Jesenica do Oborova); metoda se ne interkalibrira
	postojeća metoda, s isključivanjem redundantnih indeksa

U Hrvatskoj je provedeno osam post - interkalibracijskih postupaka za rijeke: dva za BEK fitobentos, dva za BEK makrofita i četiri za BEK makrozoobentos. Na taj način su interkalibrirane metode za BEK fitobentos u 27 nacionalnih tipova, za BEK makrofita u 15 nacionalnih tipova te za BEK makrozoobentos u 23 nacionalna tipa (u Tablici 2. označeni plavom bojom). U europskom interkalibracijskom postupku za ribe odlučeno je da nije nužno provesti interkalibraciju u okviru postojećih GIG-ova, što znači da nije korištena zajednička interkalibracijska tipologija već su se zemlje članice organizirale u regionalne grupe, od kojih Hrvatska pripada Sredozemno - južnoatlantskoj i Dunavskoj regionalnoj grupi. Uspješno su provedeni post - interkalibracijski postupci za navedene regionalne grupe.

Za neke biološke elemente kakvoće i interkalibracijske tipove nisu provedeni interkalibracijski postupci na razini GIG-ova te za njih nije bilo mogućnosti provedbe post - interkalibracijskih postupaka. To su BEK makrofita u četiri interkalibracijska tipa i 12 nacionalnih tipova te MEK makrozoobentos u dva interkalibracijska tipa i četiri nacionalna tipa (u Tablici 2. označeni zelenom bojom). Za ove biološke elemente kakvoće su razvijene metode koje su usklađene s normativnim definicijama ODV te daju odgovor na odgovarajuće opterećenje.

U odnosu na metode korištene u Planu upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. općenito je smanjen broj korištenih metrika (biološki elementi kakvoće fitobentos, makrofita i makrozoobentos) ili su razvijeni novi multimetrijski indeksi (biološki elementi kakvoće makrozoobentos i ribe) te su korigirane referentne i najlošije vrijednosti i izmijenjene ili usklađene granice klasa.

Za tipove koji nisu svrstani niti u jedan interkalibracijski tip (u Tablici 2 označeni su kao N/A), zbog malog seta podataka nisu rađene analize metoda, nego je za ocjenu ekološkog stanja zadržan postojeći klasifikacijski sustav, uz manje izmjene odnosno smanjenje broja korištenih metrika (izbačene su redundantne metrike) kako bi se uskladile s novim metodama klasifikacije.

2.2. Vrlo velike rijeke

Interkalibracija klasifikacijskih sustava u vrlo velikim rijekama Hrvatske (površina sliva > 10.000 km²) za biološke elemente kakvoće fitoplankton (Drava i Dunav), fitobentos i makrozoobentos (Drava, Sava i Dunav) uspješno je provedena u ciklusu 2015. - 2018. godine, u okviru interkalibracijskog procesa za vrlo velike rijeke (X-GIG). Interkalibracijski postupak za ribe u vrlo velikim rijekama, uspješno je dovršen početkom 2022. godine.

Višegodišnji rezultati analiza su pokazali da se u rijekama Muri, Savi i srednjem toku rijeke Drave u vegetacijskoj sezoni ne formira stabilna riječna zajednica fitoplanktona te je usvojeno da se interkalibrirani klasifikacijski sustav za BEK fitoplankton koristi samo za ocjenu donjeg toka rijeke Drave i rijeke Dunav.

Tijekom interkalibracijskog procesa za vrlo velike rijeke nisu interkalibrirani klasifikacijski sustavi za BEK makrofita, jer mnoge zemlje nemaju razvijenu metodu za ocjenu ekološkog stanja vrlo velikih rijeka ili nacionalna metoda nije korištena u rutinskom monitoringu. Vrlo velike rijeke u Hrvatskoj (Mura, Drava, Sava i Dunav) imaju vrlo oskudno razvijeno makrofitsku vegetaciju s malim brojem vrsta i malom pokrovnošću te je usvojeno da se i u Hrvatskoj ne ocjenjuje ekološko stanje vrlo velikih rijeka temeljem makrofita.

2.3. Jezera

Tipizacija jezera provedena je na jezerima koja su površine veće od 0,5 km². Sedam prirodnih jezera podijeljeno je u šest tipova, koji svi pripadaju Dinaridskoj ekoregiji, od čega dva Dinaridskoj kontinentalnoj subekoregiji (jezero Kozjak i Prošće), a pet Dinaridskoj primorskoj subekoregiji (Vransko jezero na otoku Cresu, Baćinska jezera - Oćuša i Crniševo, Vransko jezero kod Biograda i Visovačko jezero).

Republika Hrvatska nije sudjelovala u interkalibracijskim postupcima za jezera, jer u vrijeme provedbe interkalibracijskih postupaka nije imala razvijene metode za prirodna jezera. Osim toga, u Hrvatskoj nema prirodnih jezera koja pripadaju jedinom interkalibriranom zajedničkom tipu Istočno - kontinentalnog GIG-a (L-EC1, Nizinska, vrlo plitka, tvrda voda). Jezera Kozjak i Prošće svrstavaju se u tip L-EC4, ali za njega nije proveden interkalibracijski postupak. Jezera Dinaridske primorske subekoregije ne pripadaju niti jednom tipu Sredozemnog GIG-a, s izuzetkom Vranskog jezera kod Biograda na Moru, koje pripada tipu L-M1, za koji nije proveden interkalibracijski postupak.

Na europskoj razini je proveden interkalibracijski postupak za BEK fitobentos (alge kremenjašice) pod nazivom CROSS-GIG za fitobentos, koji je primjenjiv na sve tipove naših jezera. Stoga je u razdoblju 2018. - 2019. godine proveden post - interkalibracijski postupak za BEK fitobentos prema interkalibracijskom postupku za jezera visokog alkaliteta, kojima pripadaju jezera u Hrvatskoj.

Za ostale biološke elemente kakvoće - fitoplankton, makrofitu, makrozoobentos i ribe, nije bilo moguće provesti post - interkalibracijski postupak te je proveden postupak prijave metode Europskoj komisiji, a sve metode su dobile potvrdu o usklađenosti s normativnim zahtjevima ODV-a.

Dosadašnji klasifikacijski sustavi za biološke elemente kakvoće fitoplankton, fitobentos, makrozoobentos i ribe su izmijenjeni uvođenjem novih multimetrijskih indeksa, a kod BEK makrozoobentos se indeksi za ocjenu temelje na zajednici litorala, umjesto dosadašnjeg klasifikacijskog sustava koji se je temeljio na zajednici profundala. Klasifikacijski sustav za BEK makrofitu nije promijenjen.

2.4. Prijelazne i priobalne vode

Prema hrvatskoj nacionalnoj tipologiji, prijelazne vode se dijele u četiri tipa koji svi pripadaju interkalibracijskom tipu estuariji slanog klina (eng. salt wedge) unutar GIG-a za Sredozemno more (MED GIG), zajedničkom za Hrvatsku i Španjolsku. Priobalne vode se dijele u sedam tipova, koji su prema svojim abiotičkim svojstvima pridruženi interkalibracijskom tipu II.A Jadransko more, zajedničkom za Hrvatsku, Italiju i Sloveniju te interkalibracijskom tipu III.W Jadransko more zajedničkom za Hrvatsku i Italiju.

Interkalibracijski proces za interkalibracijski tip prijelaznih voda estuariji slanog klina nije proveden, jer, uz Hrvatsku, samo Španjolska ima jedno vodno tijelo u ovom tipu. Stoga je Hrvatska izvijestila Europsku komisiju o svojim metodama u navedenom tipu, uz dokazivanje usklađenosti metoda s normativnim definicijama ODV-a te povezanosti s odgovarajućim opterećenjem. Sve metode za pojedine biološke elemente kakvoće (fitoplankton, morske cvjetnice, makrozoobentos i ribe) su pozitivno recenzirane i prihvaćene. Republika Hrvatska je dobrovoljno sudjelovala u drugom ciklusu interkalibracijskog procesa za priobalne vode (2008. - 2011. godina) te su uspješno interkalibrirane metode

za BEK fitoplankton (klorofil *a*), morske cvjetnice (metoda POMI) i makroalge (metoda CARLIT). Za BEK makrozoobentos je proveden post - interkalibracijski postupak i metoda je uspješno interkalibrirana 2021. godine. Analizom podataka prikupljenih monitoringom ustanovljeno je da se tri nacionalna tipa priobalnih voda (Tablica 3) moraju na osnovu izmjerenih vrijednosti saliniteta izdvojiti u novi tip priobalnih voda koji odgovara interkalibracijskom tipu III.W. Za novo - izdvojeni interkalibracijski tip je uspostavljen novi klasifikacijski sustav za BEK fitoplankton te je uspješno proveden post - interkalibracijski postupak.

Tablica 3. Pregled nacionalnih i interkalibracijskih tipova priobalnih voda

Naziv tipa	Oznaka tipa	Srednji godišnji salinitet (PSU)	Interkalibracijski tip
Poli - euhaline plitke priobalne vode krupnozrnatog sedimenta	HR-O312	s < 37,5	II.A Jadransko more
Poli - euhaline plitke priobalne vode sitnozrnatog sedimenta	HR-O313	s < 37,5	II.A Jadransko more
Poli - euhaline priobalne vode krupnozrnatog sedimenta	HR-O322	s < 37,5	II.A Jadransko more
Poli - euhaline priobalne vode sitnozrnatog sedimenta	HR-O323	s < 37,5	II.A Jadransko more
Euhaline plitke priobalne vode sitnozrnatog sedimenta	HR-O413	s > 37,5	III.W
Euhaline priobalne vode krupnozrnatog sedimenta	HR-O422	s > 37,5	III.W
Euhaline priobalne vode sitnozrnatog sedimenta	HR-O423	s > 37,5	III.W

ZAKLJUČAK

Biološki standardi za ocjenu ekološkog stanja odnosno potencijala predstavljaju učinkovit alat za osiguravanje ekološke održivosti vodenih resursa. ODV osigurava operativne definicije za ocjenu ekološkog stanja odnosno potencijala i uvjetuje harmonizaciju uspostavljenih klasifikacijskih sustava putem obveznog interkalibracijskog procesa tijekom kojeg zemlje članice imaju priliku uskladiti, poboljšati odnosno usavršiti nacionalne klasifikacijske sustave. Proces harmonizacije na europskoj razini je dugotrajan i svakim dovršenim ciklusom interkalibracije je postignut određeni napredak u usklađivanju metoda uzorkovanja i ocjene, osjetljivosti metoda na određene pritiske okoliša, ali su prepoznati i određeni izazovi te su usvojene strategije njihova rješavanja. Može se reći da je interkalibracija osigurala jedinstvenu viziju onoga što predstavlja dobro ekološko stanje na razini Europske unije.

Usprkos uložnim velikim naporima još uvijek nisu usklađene sve biološke metode ocjene ekološkog stanja na europskoj razini. Republika Hrvatska je uspjela uskladiti sve razvijene i korištene metode ocjene, no svaki ciklus provedbe Plana upravljanja vodnim područjima predstavlja mogućnost dodatnog rafiniranja korištenih klasifikacijskih sustava.

LITERATURA

- [1] CIS vodič br. 14. (2011): Guidance Document on the Intercalibration Process 2008-2011, Europska komisija, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/3f045e64-c58a-4122-8784-8e2db805cc8e> (01.01.2016.)
- [2] CIS vodič br. 30. (2015): Procedure to fit new or updated classification methods to the results of a completed intercalibration, Europska komisija, https://circabc.europa.eu/sd/a/5ace6446-276c-4440-a7de-0d4dec41ed4b/IC_manual_2015_to%20be%20published.pdf (01.01.2016.)
- [3] CIS vodič br. 37 (2019): Steps for defining and assessing ecological potential for improving comparability of Heavily Modified Water Bodies, Europska komisija, <https://circabc.europa.eu/sd/a/d1d6c347-b528-4819-aa10-6819e6b80876/Guidance%20No%2037%20-%20Steps%20for%20defining%20and%20assessing%20ecological%20potential%20for%20improving%20comparability%20of%20Heavily%20Modified%20Water%20Bodies.pdf> (01.01.2020.)
- [4] Hrvatske vode (2021): *Razvoj klasifikacijskih sustava za biološke elemente kakvoće i provedba post - interkalibracijskih postupaka*, Zagreb
- [5] Hrvatske vode (2022): *Izveštaji o provedenim interkalibracijskim postupcima*, Zagreb
- [6] Kampa, E. i Rouillard, J. (2021): *Intercomparison of ecological potential for Rivers*, Ecologic Institute, <https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2022/2626-03-Intercomparison-Rivers-Report-2021-web.pdf> (15.07.2023.)
- [7] Poikane, S., Zampoukas, N., Borja, A., Davies, S. P., van de Bund, W., Birk, S. (2014): *Intercalibration of aquatic ecological assessment methods in the European Union: Lessons learned and way forward*, Environmental Science & Policy, Volume 44, 237-246

AUTORI

Marija Šikoronja, dipl. ing. biol. ^a

mr. sc. Valerija Musić, dipl. ing. biol. ^b,

Tina Miholić, dipl. ing. biol. ^a

dr. sc. Igor Stanković, dipl. ing. biol. ^c

^a Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb 10000, Hrvatska, marija.sikoronja@voda.hr, tina.miholic@voda.hr

^b Hrvatske vode, Sektor razvitka, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb 10000, Hrvatska, valerija.music@voda.hr

^c Institut za vode Josip Juraj Strossmayer, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb 10000, Hrvatska, igor.stankovic@institutjjs.hr



R 4.05.

RAZVOJ TIPOLOŠKOG SUSTAVA POVRŠINSKIH VODA KROZ TRI PLANSKA CIKLUSA

Tina Miholić, Marija Šikoronja, Valerija Musić

SAŽETAK: Tijekom tri planska ciklusa sustavno se odvijao razvoj tipološkog sustava provođenjem niza stručnih i znanstvenih istraživanja i projekata. Tijekom 2. planskog ciklusa proveden je postupak interkalibracije, kojim je potvrđena i tipizacija površinskih voda. Za potrebe izrade Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. preliminarno su određeni tipovi površinskih voda za koje tipološki sustav nije nacionalno potvrđen. U sljedećim planskim ciklusima tipološki sustav površinskih voda planira se putem dodatnih istraživanja revidirati i potvrditi na nacionalnoj razini.

KLJUČNE RIJEČI: Tipizacija, Površinske vode, Plan upravljanja vodnim područjima

DEVELOPING A TYPOLOGY SYSTEM FOR SURFACE WATERS DURING THREE PLANNING CYCLES

ABSTRACT: The development of a typology system has been systemically developed during three planning cycles through a series of expert and scientific research and projects. During the 2nd planning cycle, the intercalibration exercise was conducted, which confirmed the typisation of surface waters as well. For the purposes of the River Basin Management Plan until 2027, surface water types for which the typology system is not nationally adopted were initially determined. In the following planning cycles, a revision and national adoption of the typology system for surface waters through additional research are planned.

KEYWORDS: Typisation, Surface waters, River Basin Management Plan

1. UVOD

Donošenjem Okvirne direktive o vodama (2000/69/EZ) uvedena je tipizacija površinskih voda temeljena na činjenici da različiti tipovi voda imaju različite ekološke karakteristike. Ona predstavlja osnovu klasifikacije i ocjene ekološkog stanja površinskih voda. Na temelju Zakona o vodama (Narodne novine, br. 66/19, 84/21 i 47/23), članak 39, Hrvatske vode izrađuju Plan upravljanja vodnim područjima za razdoblje od šest godina (u daljnjem tekstu Plan). Sastavni dio Plana čini i prikaz tipova vodnih tijela i opis njihovih značajki. Prvi Plan obuhvaća razdoblje 2013. - 2015. (zbog ulaska Republike

Hrvatske u Europsku uniju i prilagodbe planskim ciklusima prvi Plan je donesen na razdoblje od samo tri godine), drugi Plan obuhvaća razdoblje 2016. - 2021. godine, a treći Plan razdoblje 2022. - 2027. godine. Klasifikacijski sustav tipova površinskih voda predstavlja osnovu za daljnju ocjenu ekološkog stanja voda, koju je potrebno dati za vodna tijela u Planu.

2. RAZVOJ TIPOLOŠKOG SUSTAVA

Tipizacija površinskih voda u osnovi predstavlja razvrstavanje voda temeljem određenog broja pokazatelja koji bitno određuju prirodna ekološka obilježja voda. Oni ovise o kategoriji vode i mogu biti zadani: primjerice, za rijeke su to pripadnost ekoregiji, nadmorska visina, slivno područje i geološka podloga (tipizacijski sustav A) ili izborni: fiziografski i hidrološki (tipizacijski sustav B) (Tablica 1). Republika Hrvatska ulaskom u Europsku uniju i odabirom tipizacijskog sustava B pridružila se većini zemalja, zbog objektivnije i preciznije klasifikacije tipova površinskih voda, koja bolje opisuje ekološku raznolikost površinskih voda. Tipovi dobiveni korištenjem abiotičkih pokazatelja (abiotički tipovi) grupiraju se u biotičke tipove na osnovi sličnosti zajednica vodenih organizama. Prema Okvirnoj direktivi o vodama u tipizaciju su uključene tekućice sa slivnom površinom > 10 km² i stajaćice s površinom > 0,5 km².

Tablica 1. Pokazatelji korišteni u tipizaciji površinskih voda

1. Planski ciklus		2. i 3. Planski ciklus	
Obvezni	Izborni	Obvezni	Izborni*
Tekućice			
Ekoregija	Srednji godišnji protok	Ekoregija	Sitne čestice supstrata (< 2 mm)
Nadmorska visina (m)	Veličina čestica supstrata	Nadmorska visina (m)	Srednje krupne čestice supstrata (>2 mm)
Veličina sliva (km ²)		Veličina sliva (km ²)	Krupni supstrat (> 6 cm)
Geološka i litološka podloga		Geološka i litološka podloga	Aluvijalne tekućice s malim padom korita
			Tekućice krških polja
			Krške tekućice s padom korita većim od 5 ‰
			Povremene tekućice
			Krške tekućice s baražnim ujezerenjem
Stajaćice			
Ekoregija	Jezerska termika	Ekoregija	Jezerska termika
Nadmorska visina (m)	Stratifikacija sadržaja otopljenog kisika u ljetnoj stagnaciji	Nadmorska visina (m)	Stratifikacija sadržaja otopljenog kisika u ljetnoj stagnaciji

1. Planski ciklus		2. i 3. Planski ciklus	
Obvezni	Izborni	Obvezni	Izborni*
Tekućice			
Dubina (m)	Geološko porijeklo jezera	Dubina (m)	Geološko porijeklo jezera
Površina (km ²)	Stupanj trofije	Površina (km ²)	Stupanj trofije
Geološka i litološka podloga		Geološka i litološka podloga	
Prijelazne vode			
Ekoregija	Sastav supstrata	Ekoregija	Sastav supstrata
Salinitet(s)		Salinitet(s)	
Raspon plime i oseke		Raspon plime i oseke	
		Geografska širina i dužina	
Priobalne vode			
Ekoregija	Sastav supstrata	Ekoregija	Sastav supstrata
Salinitet (s)		Salinitet (s)	Dubina (m)
Dubina (m)		Raspon plime i oseke	

* Abiotički tipovi tekućica dobiveni korištenjem obveznih i izbornih pokazatelja grupirali su se u biotičke tipove na temelju zajednica makrozoobentosa sa vrlo dobrim i dobrim saprobiološkim obilježjima.

2.1. Razvoj tipološkog sustava za Plan 2013. - 2015.

Sastav i struktura zajednica vodenih organizama površinskih voda ovise o nizu prirodnih i antropogeno uvjetovanih čimbenika, te je zbog ekološke raznolikosti uvedena tipizacija površinskih voda i ocjenjivanje stanja voda s obzirom na relativno odstupanje od tzv. tip - specifičnih referentnih uvjeta. Prvi korak prilikom tipizacije površinskih voda bilo je prostorno svrstavanje Republike Hrvatske u hidrografske i limnofaunističke regije i subregije te zasebno tipiziranje tekućica, stajaćica, prijelaznih voda i priobalnih voda. Tipizacijom su bile obuhvaćene sve površinske vode uključujući tijela prirodnih površinskih voda te kandidata za znatno promijenjene i umjetne površinske vode. Prema Illiesu (1978), čija je podjela prihvaćena Okvirnom direktivom o vodama, Europa je podijeljena na 25 kopnenih ekoregija u koje se razvrstavaju tekućice i stajaćice i šest morskih ekoregija u koje se razvrstavaju prielazne i priobalne vode. Prema navedenom, tekućice i stajaćice Republike Hrvatske obuhvaćene su Dinaridskom ekoregijom sa dvije subekoregije - Primorskom i Kontinentalnom subekoregijom, te Panonskom ekoregijom, dok su prielazne i priobalne vode obuhvaćene Mediteranskom ekoregijom. Svakom izdvojenom tipu površinske vode pridružene su tip - specifične referentne vrijednosti i granice klasa za relevantne elemente ocjene ekološkog stanja, koje predstavljaju osnovu za klasifikaciju ekološkoga stanja. Zbog nedostatka referentnih mjesta, oskudnih povijesnih bioloških podataka i neopsežnog biološkog monitoringa voda u Hrvatskoj tadašnji standardi za ocjenu

ekološkog stanja voda bili su nepotpuni i nisu sadržavali sve potrebne biološke i prateće fizikalno-kemijske elemente kakvoće propisane Okvirnom direktivom o vodama. Stoga su se za određivanje referentnih uvjeta, koji opisuju približno prirodno stanje određenog ekosustava s minimalnim antropogenim utjecajem, kao i pri određivanju standarda za ocjenu ekološkog stanja uz prostorne i povijesne podatke koristila u većoj mjeri i mjerila ustanovljena ekspertnim procjenama. Osim ekoloških tipova definiranih nacionalnom tipologijom, za potrebe izrade Plana definirani su preliminarno određeni tipovi tekućica i stajaćica, dobiveni isključivo na osnovu abiotičkog sustava razvrstavanja. Oni se, kao i tekućice sa slivnom površinom $< 10 \text{ km}^2$ i stajaćice s površinom $< 0,5 \text{ km}^2$ u ocjeni stanja smatraju dijelom vodnog tijela koje je proglašeno Planom, ako su povezani s njime i za njih važe isti uvjeti kao i za tip tog vodnog tijela proglašenog Planom. Ukoliko preliminarno određeni tipovi, ili tekućice sa slivnom površinom $< 10 \text{ km}^2$ i stajaćice s površinom $< 0,5 \text{ km}^2$ nisu sastavni dio većeg vodnog tijela za njih važe uvjeti kao za tip vodnog tijela iste kategorije (tekućica, stajaćica, prijelazna voda ili priobalna voda) najosjetljivijeg ekotipa iz pripadajuće ekoregije. Stoga se uočila potreba za daljim istražnim radovima za sljedeće planske cikluse, u kojima su se u sustav razvrstavanja uključili biološki elementi te utvrdila pripadnost preliminarno određenih tipova tekućica i stajaćica pojedinom tipu definiranom biološkom klasifikacijom, ili se odredio novi ekološki tip tekućice i stajaćice. Tako su u programu dopunskih mjera upravljanja vodnim područjima predviđene aktivnosti na unaprjeđenju sustava za klasifikaciju i ocjenu površinskih voda u narednom planskom razdoblju. Za ovaj planski ciklus Hrvatske vode su pokrenule četiri projekta za kopnene površinske vode i dva projekta za prijelazne i priobalne vode sa ciljem izrade studija za potrebe razvoja tipološkog sustava.

Tekućice - Tekućice i njihovi dijelovi raspoređeni su u ekološke tipove po zadanim kriterijima abiotičkih i biotičkih pokazatelja. Kao obvezni pokazatelji korišteni su: nadmorska visina, veličina sliva i geološka podloga, a u pojedinim slučajevima, gdje je to po ekspertnoj procjeni bilo potrebno uključeni su i izborni abiotički pokazatelji. Za podjelu tipova korištene su digitalne podloge kojima su za prvi plan raspolagale Hrvatske vode. Tipizacijom je obuhvaćeno 13.053 km vodotoka sa slivnom površinom $> 10 \text{ km}^2$. Utvrđena su 52 ekološka tipa tekućica, od kojih je 20 bilo zastupljeno u Panonskoj ekoregiji, 11 u Dinaridskoj kontinentalnoj i 21 u Dinaridskoj primorskoj ekoregiji. Duljina netipiziranih (vrlo malih) vodotoka sa slivnom površinom $< 10 \text{ km}^2$ iznosila je 51.311 km.

Stajaćice - Od ukupno osam stajaćica površine $> 0,5 \text{ km}^2$, utvrđeno je 6 ekoloških tipova stajaćica od kojih se jedan tip nalazi u Panonskoj ekoregiji (Sakadaš), jedan tip u Dinaridskoj kontinentalnoj (Kozjak i Prošće) i četiri tipa u Dinaridskoj primorskoj ekoregiji (Vransko jezero - Cres, Vransko jezero - Biograd, Oćuša, i Crniševo, Visovačko jezero). Tipizirano je 167,00 km^2 površine stajaćica $> 0,5 \text{ km}^2$, a 2,64 km^2 površine ostalo je netipiziranih stajaćica.

Prijelazne i priobalne vode - Tipizirano je 77 km^2 prijelaznih voda na ušćima rijeka Drag-onja, Mirna, Raša, Rječina, Zrmanja, Krka, Jadro, Cetina, donji tok Neretve i Ombla te je određeno šest tipova prijelaznih voda. U priobalnim vodama određeno je pet tipova priobalnih voda, ukupne površine 13.650 km^2 .

2.2. Razvoj tipološkog sustava za Plan 2016. - 2021.

S obzirom na nove spoznaje proizašle iz istraživačkih projekata utvrđena je potreba za revizijom tipologije za neke kategorije površinskih voda. U odnosu na prvi planski ciklus prikupljena saznanja rezultirala su bitnim izmjenama i dopunama u klasifikacijskom sustavu za ocjenjivanje ekološkog stanja površinskih voda. Najveći napredak odnosi se na normiranje bioloških elemenata kakvoće. Za ovaj planski ciklus Hrvatske vode su pokrenule dva projekta za kopnene površinske vode i jedan projekt za prijelazne i priobalne vode sa ciljem izrade studija za potrebe razvoja tipološkog sustava.

Tekućice - U skladu s rezultatima istraživačkih projekata provedena je validacija abiotičke tipologije te je tipološki sustav revidiran i unaprjeđen korekcijom izbornih pokazatelja. Tako je dobiven ukupno 71 abiotički tip tekućica, koji su se na osnovi zajednice makrozoobentosa grupirali u 28 biotičkih tipova, deset tipova u Panonskoj ekoregiji, šest u Dinaridskoj kontinentalnoj ekoregiji i 12 u Dinaridskoj primorskoj ekoregiji. Ostali biološki elementi kakvoće koje zahtjeva Okvirna direktiva o vodama naknadno su se uklopili u prethodno dobiveni tipološki sustav. Tipizacijom je obuhvaćeno 12.844 km vodotoka sa slivnom površinom $> 10 \text{ km}^2$. Ukupna duljina netipiziranih vodotoka iznosila je 54.749 km. Unaprjeđenje tipološkog sustava dovelo je i do bitnih izmjena i dopuna u klasifikacijskom sustavu ekološkog stanja i ocjene površinskih voda u odnosu na prvi planski ciklus te je sustav proširen novim elementima i pokazateljima kakvoće.

Stajaćice - U odnosu na 1. plansko razdoblje došlo je do revizije nacionalne tipologije jezera. Sakadaško jezero isključeno je iz tipologije prirodnih jezera, jer je tijekom izrade Plana definirano kao znatno promijenjena stajaćica. Također, jezera Kozjak i Prošće podijeljena su u dva tipa na osnovu stupnja trofije (jezero Kozjak kao oligotrofnog, a jezero Prošće kao oligo-mezotrofnog). Za potrebe izrade Plana preliminarno su identificirane su i akumulacije površine $> 0,5 \text{ km}^2$, radi daljnje ocjene stanja. Ukupno je tipizirano $164,9 \text{ km}^2$ površine stajaćica $> 0,5 \text{ km}^2$ (uključujući i preliminarno određene akumulacije), a $2,2 \text{ km}^2$ površine jako malih stajaćica ostalo je netipizirano.

Prijelazne i priobalne vode - U odnosu na 1. plansko razdoblje došlo je do manje promjene u tipologiji prijelaznih voda i sustavu ocjenjivanja stanja prijelaznih voda. Primijenjeni čimbenici nisu mijenjani u odnosu na tipologiju iz prvog Plana, ali su promijenjeni kriteriji za salinitet te su mezohaline i polihaline vode spojene u isti tip. Time je broj tipova smanjen na četiri tipa prijelaznih voda. Ukupno je tipizirano $160,7 \text{ km}^2$ prijelaznih voda. Kod priobalnih voda nije bilo bitnih promjena u tipologiji i sustavu ocjenjivanja stanja u odnosu na 1. plansko razdoblje.

2.3. Razvoj tipološkog sustava za Plan do 2027.

Budući da Republika Hrvatska nije sudjelovala u prvom i drugom ciklusu interkalibracijskih vježbi zbog kasnijeg pridruživanja Europskoj uniji, nacionalni klasifikacijski sustav bioloških elemenata kakvoće u površinskim kopnenim vodama nije prošao provjeru s rezultatima interkalibracijskog procesa za vrijeme 1. i 2. planskog ciklusa. Stoga je usklađivanje metoda i klasifikacijskog sustava ekološkog stanja s obzirom na rezultate završenog interkalibracijskog postupka provedeno za 3. planski ciklus kroz post - interkalibracijski postupak. Tako su tipologija i nacionalni klasifikacijski sustav ekološkog stanja revidirani i usklađeni s normativnim definicijama.

Za 3. planski ciklus napravljen je veliki iskorak u tipizaciji umjetnih i znatno promijenjenih vodnih tijela površinske vode, kod kojih su hidromorfološke karakteristike zbog specifičnosti korištenja znatno promijenjene u odnosu na prirodna vodna tijela (Tablica 2). Njihova tipizacija predstavlja osnovu za tip - specifičnu ocjenu ekološkog potencijala. Kod utvrđivanja tipova znatno promijenjenih i umjetnih vodnih tijela površinskih voda temeljni pristup sadržavao je pridruživanje njima najslabijih tipova prirodnih površinskih voda, uzimajući u obzir abiotičke čimbenike tipizacije. Hidromorfološke promjene na njima usko su povezane s njihovom namjenom te se u obzir se uzimala i namjena korištenja određenog vodnog tijela i s time povezane modifikacije.

Tablica 2. Broj nacionalnih ekoloških tipova

PLANSKI CIKLUS	Tekuće	Stajaće	Prijelazne vode	Priobalne vode	Znatno promijenjene i umjetne tekuće	Znatno promijenjene i umjetne stajaće
1. 2013. - 2015.	52	6	6	5		
2. 2016. - 2021.	28	6	4	5		
3. 2022. - 2027.	35	7	4	7	13	33

Osim tipova površinskih voda tipiziranih na nacionalnoj razini, što je potvrđeno stručnim studijama, za potrebe izrade Plana napravljena je preliminarna tipizacija ostalih prirodnih te znatno promijenjenih i umjetnih površinskih voda na osnovu ekspertnih procjena i analiza (Tablica 3). Za vrlo mala vodna tijela površinskih voda ne postoji obveza izvješćivanja prema Europskoj komisiji, ali zbog cjelovitosti informacije o hidrografskoj mreži dio njih ulazi u izvještajni model. Stoga je u ovom slučaju potrebno provesti dodatna istraživanja kojima će se potvrditi tipologija i razviti klasifikacijski sustav za preliminarno tipizirana prirodna te umjetna i znatno promijenjena vodna tijela površinskih voda. Zbog navedenih velikih dopuna i razvoja tipologije površinskih voda u skladu s interkalibracijskim postupkom za ovaj planski ciklus Hrvatske vode su pokrenule 9 projekata za kopnene površinske vode i 4 projekta za prijelazne i priobalne vode.

Tablica 3. Broj preliminarno određenih ekoloških tipova

Kategorija vode	Broj preliminarno određenih tipova
Jako male prirodne tekuće	10
Prirodne stajaće (uključujući slana jezera)	6
Znatno promijenjene i umjetne tekuće	27
Znatno promijenjene i umjetne stajaće	5
Prijelazne vode	1
Priobalne vode	2

Tekuće - Analizom nacionalne biotičke i abiotičke tipologije prirodnih tekućica utvrđeno je da se određeni biotički tipovi prema abiotičkim karakteristikama trebaju dodatno raščlaniti, kako bi bili svrstani u odgovarajući interkalibracijski tip. Nacionalni

tipovi površinskih voda pripadaju dvijema interkalibracijskim grupama: Istočno - kontinentalnoj geografskoj interkalibracijskoj grupi (EC GIG) sa šest interkalibracijskih tipova i Sredozemnoj GIG (MED GIG) s tri interkalibracijska tipa. Na ovaj način se broj biotičkih nacionalnih tipova povećao s 28 na 35 tipova, od kojih se pet biotičkih tipova (šest abiotičkih) prema abiotičkim svojstvima ne mogu svrstati niti u jedan interkalibracijski tip. Zajedničkim interkalibracijskim tipovima unutar EC GIG-a u Panonskoj ekoregiji i Dinaridskoj kontinentalnoj subekoregiji odgovara 17 postojećih biotičkih tipova i 37 postojećih abiotičkih tipova tekućica. Unutar MED GIG-a u Dinaridskoj primorskoj subekoregiji zajedničkim interkalibracijskim tipovima odgovara 13 postojećih biotičkih tipova i 22 postojeća abiotička tipa tekućica.

Za potrebe izrade Plana napravljena je preliminarna tipizacija vrlo malih tekućica (od 3 do 10 km²) te je identificirano dodatnih osam tipova značajnih za upravljanje vodama. Uz njih, detaljnom analizom tipova, identificirana su i dva tipa tekućica s površinom većom od 10 km² koji nisu uključeni u nacionalnu tipologiju, ali su uključeni u razradu klasifikacijskog sustava ocjene stanja površinskih voda tekućica. Tipizirano je 53.021 km prirodnih tekućica te 7.038 km preliminarno tipiziranih prirodnih tekućica.

Na nacionalnoj razini definirano je 11 tipova znatno promijenjenih tekućica (od kojih su neki podijeljeni na podtipove), pet tipova u Panonskoj ekoregiji i šest tipova u Dinaridskoj ekoregiji te dva tipa (s podtipovima) umjetnih tekućica, u svakoj ekoregiji po jedan tip. Osim nacionalno tipiziranih znatno promijenjenih i umjetnih vodnih tijela tekućica preliminarno je tipizirano dodatnih 27 tipova (uključujući i hladnovodne ribnjake, hidrotehničke tunele i tekućice u zatvorenim kolektorima javne odvodnje mješovitog tipa) značajnih za upravljanje vodama. Tipizirano je 13.750 km nacionalnih tipova umjetnih i znatno promijenjenih tekućica te njihovih 479 km preliminarno tipiziranih tipova (Tablica 4).

Stajaćice - U odnosu na prethodna planska razdoblja došlo je do promjena u broju i tipovima prirodnih jezera. U okviru provedbe naknadnih analiza podataka za pripremu Plana ustanovljeno je da jezero Kutu po salinitetu pripada slatkovodnim jezerima i da je njegova površina > 0,5 km². Interkalibracija jezera je provedena post - interkalibracijskim postupkom za sva jezera osim za jezero Kutu, zbog njegovog kasnijeg uključivanja u tipizaciju. Tipizacijom je dobiveno 8 prirodnih jezera podijeljenih u 7 tipova (2 u Dinaridskoj kontinentalnoj subekoregiji i 6 u Dinaridskoj primorskoj subekoregiji).

Za potrebe izrade Plana napravljena je preliminarna tipizacija prirodnih jezera <0,5 km² na osnovu abiotičkih parametara. Identificirano je 6 dodatnih tipova prirodnih jezera značajnih za upravljanje vodama. Među njima je napravljena i preliminarna tipizacija prirodnih slanih jezera te su određena 3 tipa morskih, odnosno slanih jezera. Tipizirano je 51.9 km² prirodnih jezera te 8.5 km² preliminarno tipiziranih prirodnih jezera.

Osim toga, tipizirano je 38 znatno promijenjenih i umjetnih stajaćica s površinom > 0,5 km², svrstanih u 33 tipa. Njihova ukupna površina iznosi 230,2 km². Za potrebe izrade Plana napravljena je i preliminarna tipizacija znatno promijenjenih i umjetnih stajaćica površine < 0,5 km² uključujući i toplovodne ribnjake koji do sada nisu tipizirani na nacionalnoj razini. Identificirano je dodatnih pet tipova značajnih za upravljanje vodama, ukupne površine 134,1 km² (Tablica 4).

Prijelazne i priobalne vode - U odnosu na 2. plansko razdoblje kod prijelaznih voda nije bilo bitnih promjena u tipologiji. Ukupno je tipizirano 128,85 km² prijelaznih voda. Svi

klasifikacijski sustavi su pozitivno recenzirani i prihvaćeni. U odnosu na 2. planski ciklus došlo je do promjene u tipologiji priobalnih voda uslijed prilagodbe granice saliniteta između euhaline i polihaline vode na 37,5 umjesto dosadašnjih 36 PSU. Promjena je bila potrebna radi usklađenja nacionalnih tipova s rasponom saliniteta definiranim za interkalibracijske tipove (IIA i IIIW). Na temelju navedenih abiotičkih čimbenika određeno je sedam tipova priobalnih voda za razliku od prethodnih pet tipova. Ukupno je tipizirano 13.752 km² priobalnih voda. Za potrebe izrade napravljena je preliminarna tipizacija malog broja znatno promijenjenih i umjetnih prijelaznih i priobalnih vodnih tijela te su identificirana dodatna dva tipa priobalnih voda i jedan tip prijelaznih voda značajnih za upravljanje vodama.

Tablica 4. Duljine i površine površinskih voda u Republici Hrvatskoj po kategorijama

Površinske vode		Vodno područje rijeke Dunav	Jadransko vodno područje	Područje otvorenog mora	Republika Hrvatska
Prirodne tekućice - ukupno	km	44.666	8.355		53.021
Prirodne tekućice sa slivnom površinom > 10 km ² (nacionalni tipovi)	km	39.938	6.045		45.983
Ostale prirodne tekućice ¹	km	4.728	2.310		7.038
Znatno promijenjene i umjetne tekućice - ukupno	km	12.844	906		13.750
Znatno promijenjene i umjetne tekućice (nacionalni tipovi)	km	12.775	496		13.271
Ostale znatno promijenjene i umjetne tekućice	km	69	410		479
Prirodne stajaćice - ukupno	km ²	7,4	44,5		51,9
Prirodne stajaćice s površinom vodnog lica >0,5 km ² (nacionalni tipovi)	km ²	1.7	41.7		43.4
Ostale prirodne stajaćice ²	km ²	5.7	2.8		8.5
Znatno promijenjene i umjetne stajaćice - ukupno	km ²	183.8	46.4		230.2
Znatno promijenjene i umjetne stajaćice (nacionalni tipovi)	km ²	50,1	46.0		96.1
Ostale znatno promijenjene i umjetne stajaćice	km ²	133.7	0.4		134.1
Prijelazne vode	km ²		128,85		128,85
Priobalne vode	km ²		13.750		13.750
Morske vode	km ²			17.718	17.718

¹ Uz tekućice slivne površine < 10km² obuhvaćena su dva tipa tekućica sa slivnom površinom > 10 km² koje nisu nacionalno tipizirane

² Uz stajaćice s površinom vodnog lica < 0,5 km² obuhvaćena su tri tipa stajaćica s površinom vodnog lica >0,5 km² koji nisu nacionalno tipizirani

ZAKLJUČAK

Značajne promjene i dopune u tipizaciji površinskih voda tijekom planskih ciklusa rezultat su potrebe za preciznijim i pouzdanijim određivanjem stanja površinskih voda temeljenim poglavito na biološkim pokazateljima. Razvoj tipološkog sustava sustavno se odvijao provođenjem niza stručnih i znanstvenih istraživanja i projekata. Tijekom tri planska ciklusa ukupno je provedeno 22 projekta vezanih uz definiranje i reviziju tipološkog sustava površinskih voda. Tijekom 2. planskog ciklusa završen je postupak interkalibracije. Njime je uz potvrdu sustava nacionalne ocjene ekološkog stanja potvrđena i tipizacija površinskih voda. Za potrebe izrade Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. preliminarno su određeni tipovi za vodna tijela tekućica sa slivnom površinom <math>< 10 \text{ km}^2</math> i za stajaćice s površinom >math>> 0,5 \text{ km}^2</math> te za ostala vodna tijela tekućica i stajaćica za koje tipološki sustav nije nacionalno potvrđen. Samim time, napravljen je iskorak i prema kvalitetnijem upravljanju navedenih vodnih tijela. U prethodnim planskim ciklusima stanje takvih vodnih tijela se ocjenjivalo prema standardima koji vrijede za veće vodno tijelo s kojim su u površinskom kontaktu ili, ako takvog kontakta nema, za najbliže ili najprimjerenije veće vodno tijelo. Stoga se u narednom planskom ciklusu tipološki sustav površinskih voda planira preciznije i detaljnije dopuniti razradom preliminarno određenih tipova.

LITERATURA

- [1] Illies J. (1978): *Limnofauna Europaea*. Fischer, Stuttgart, New York; Swets & Zeitlinger
- [2] Hrvatske vode (2013): *Plan upravljanja vodnim područjima 2013. - 2015*, (Narodne novine, broj 82/13)
- [3] Hrvatske vode (2016): *Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021.*, (Narodne novine, broj 66/16)
- [4] Hrvatske vode (2021): *Razvoj klasifikacijskih sustava za biološke elemente kakvoće i provedba post-interkalibracijskih postupaka*, siječanj 2021. godine.
- [5] Hrvatske vode (2022): *Određivanje klasifikacijskog sustava za biološke i fizikalno-kemijske elemente kakvoće ekološkog stanja i ekološkog potencijala za preliminarno tipizirane površinske vode i novelacija tipologije prijelaznih i priobalnih voda*.
- [6] Hrvatske vode (2023): *Plan upravljanja vodnim područjima do 2027.*, (Narodne novine, broj 84/23)

AUTORI

Tina Miholić, dipl.ing.biol. ^a

Marija Šikoronja, dipl. ing. biol. ^a

mr. sc. Valerija Musić, dipl. ing. biol. ^b

^a Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska, tina.miholic@voda.hr, marija.sikoronja@voda.hr

^b Hrvatske vode, Sektor razvitka, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska, valerija.music@voda.hr



R 4.06.

ODREĐIVANJE ZNATNO PROMIJENJENIH I UMJETNIH VODNIH TIJELA ČIJE JE HIDROMORFOLOŠKO STANJE POSLJEDICA HIDROENERGETSKOG KORIŠTENJA VODA NA HEP - OVIM OBJEKTIMA

Vedrana Ričković, Boris Vrcelj, Monika Babačić, Tonći Blažević

SAŽETAK: Analizirana su vodna tijela koja se nalaze pod utjecajem ili su u izravnoj funkciji proizvodnje električne energije hidroelektrana u Republici Hrvatskoj, a kojima gospodari Hrvatska elektroprivreda (HEP).

Polazište je *Plan upravljanja vodnim područjima* koji predstavlja planski dokument kojega donosi Vlada Republike Hrvatske. Plan se donosi za razdoblje od 6 godina. U prethodnim Planovima upravljanja vodnim područjima dio vodnih tijela koja su predmet provedenih analiza bila su navedena kao „kandidati za proglašavanje znatno promijenjenih i umjetnih vodnih tijela“.

Osim analize, opisa i argumentacije trajnog proglašavanja znatno promijenjenih vodnih tijela, čije je hidromorfološko stanje posljedica hidroenergetskog korištenja voda na postojećim HEP - ovim objektima, takva vodna tijela je potrebno kandidirati za proglašenje izuzeća kod kojih se mogu primjenjivati alternativni ciljevi zaštite vodnog okoliša.

Kao rezultat rada, određeni su dijelovi vodotoka i akumulacija za proglašavanje znatno promijenjenih i umjetnih vodnih tijela na temelju svoje uloge unutar hidroenergetskog sustava kojem pripadaju te uz stručno obrazloženje za potrebe proglašenja sukladno EU vodiču za predmetnu problematiku.

KLJUČNE RIJEČI: Znatno promijenjeno vodno tijelo (HMWB), Umjetno vodno tijelo (AWB), Hidromorfologija, HEP, Hidroenergetika, Plan upravljanja vodnim područjima, Okvirna direktiva o vodama

DESIGNATION OF HEAVILY MODIFIED AND ARTIFICIAL WATER BODIES WHOSE HYDROMORPHOLOGICAL STATUS IS A CONSEQUENCE OF WATER USE FOR HYDROPOWER GENERATION AT HEP FACILITIES

ABSTRACT: The analysis included water bodies under the influence or with a direct role in hydropower generation in the Republic of Croatia managed by the national energy company (HEP Group).

The starting point is the *River Basin Management Plan*, which is a planning document adopted by the Government of the Republic of Croatia for a 6 - year period. In the previous River Basin Management Plans, a part of water bodies that are subject to conducted analyses were listed as “candidates for heavily modified and artificial water bodies”.

In addition to analyses, description and arguments for a permanent designation as heavily modified water bodies whose hydromorphological status is a consequence of water use for hydropower generation at existing HEP Group facilities, such water bodies must apply for exemptions, in which case alternative objectives of aquatic environment protection may be used.

As a result of our work, we identified certain parts of watercourses and reservoirs suitable for a designation as heavily modified and artificial water bodies based on their role within the hydropower system to which they belong and an expert explanation required for the designation in accordance with the EU Guidance Document for the subject matter.

KEYWORDS: Heavily modified water body (HMWB), Artificial water body (AWB), Hydromorphology, HEP Group, Hydropower sector, River Basin Management Plan, Water Framework Directive

1. UVOD

Plan upravljanja vodnim područjima predstavlja planski dokument kojeg donosi Vlada Republike Hrvatske. Navedeni plan donosi se za razdoblje od 6 godina.

U prethodnim Planovima upravljanja vodnim područjima dio vodnih tijela koja su predmet provedenih analiza bila su navedena kao „kandidati za proglašavanje znatno promijenjenih i umjetnih vodnih tijela“ stoga je bilo potrebno izraditi Tehničku podlogu za proglašavanje znatno promijenjenih i umjetnih vodnih tijela koja je na posljetku korištena za izradu „Plana upravljanja vodnim područjima do 2027.“ koji predstavlja novelaciju Plana upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021.

Tehnička podloga odnosi se na vodna tijela čije je hidromorfološko stanje posljedica hidroenergetskog korištenja voda na postojećim HEP - ovim objektima.

2. HIDROMORFOLOGIJA, ZNATNO PROMIJENJENA I UMJETNA VODNA TIJELA - OSNOVNI POJMOVI

Hidromorfologija obuhvaća sve fizičke i hidrološke karakteristike rijeka uključujući prevladavajuće procese iz kojih one rezultiraju. Općenito se može konstatirati da su gotovo sve rijeke i / ili jezera izložene nekoj od ljudskih aktivnosti kao što su zahvaćanje vode, regulacija protoka (brane, ustave, ...), izgradnja obrambenih nasipa, kanaliziranje vodotoka i slično. Ove aktivnosti nazivaju se hidromorfološkim pritiscima jer iste dovode do značajnih hidromorfoloških promjena u pogledu strukture i površine vodnog tijela kao i promjene prirodnog režima tečenja. Intenzivni hidromorfološki pritisci mogu imati za posljedicu promjenu obalne strukture, sastava i pada riječnog korita, promjenu vodostaja / protoka ili povećanu eutrofikaciju što sve izravno utječe na sastav i količinu akvatične flore i faune a samim tim i na “dobar status” vodnog tijela.

Kroz „Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021.“ hidromorfološke promjene vodnih tijela površinskih voda prepoznate su kao jedno od značajnih pitanja upravljanja vodama.

Prema Direktivi 2000/60/EZ Europskog parlamenta i vijeća od 23. listopada 2000. (ODV) definiraju se:

- „Znatno promijenjeno vodno tijelo” što znači tijelo površinske vode kojem je uslijed fizičkih promjena nastalih ljudskom aktivnošću bitno promijenjen karakter.
- „Umjetno vodno tijelo” što znači tijelo površinske vode stvoreno ljudskom aktivnošću.

Prema “Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) - Guidance document n.o 4 - Identification and Designation of Heavily Modified and Artificial Water Bodies”, (u daljnjem tekstu WFD - CIS Vodič br. 4 Identifikacija i određivanje znatno promijenjenih i umjetnih vodnih tijela) [3]:

- Znatno promijenjeno vodno tijelo (HMWB) je značajno promijenjeno u karakteru kao rezultat fizičkih izmjena u kontekstu određivanja HMWB, fizičke izmjene su značajne izmjene koje su uzrokovale značajne promjene u hidromorfologiji vodnog tijela, kao što je značajna promjena u karakteru vodnog tijela. Općenito ove hidromorfološke karakteristike su dugoročne i mijenjaju morfološke i hidrološke karakteristike.
- Umjetno vodno tijelo (AWB) označava površinsko vodno tijelo formirano ljudskim aktivnostima. Umjetno vodno tijelo je površinsko vodno tijelo koje je formirano na lokaciji gdje ranije nije postojalo vodno tijelo i koje nije formirano direktnom fizičkom izmjenom, izmještanjem ili poravnanjem postojećeg vodnog tijela.

3. KLJUČNI ELEMENTI HIDROMORFOLOŠKIH PRITISAKA I UTJECAJA

Hidromorfološki pritisci i njihovi efekti zauzimaju značajno mjesto u upravljanju vodama, jer utječu kako na abiotne karakteristike vodnih tijela, tako i na ekologiju i ekološki status riječnih sustava. Antropogeni pritisci, kao posljedica raznih zahvata na vodotocima, mogu značajno izmijeniti prirodni izgled i značajke površinskih voda koji su važni s aspekta osiguranja uvjeta života i održanja akvatičnih živih bića. Izmjena prirodnih hidromorfoloških uvjeta može imati negativne efekte na akvatičnu populaciju, što može rezultirati nedostizanjem okolišnih ciljeva propisanih ODV - om. Korištenje voda u energetske svrhe, plovidba i zaštita od poplava su česti uzročnici hidromorfoloških promjena. Hidromorfološke promjene, mogu biti i posljedica ostalih antropogenih aktivnosti osobito vezanih za urbanizaciju i poljoprivredu. Spomenuti pokretači mogu utjecati na prirodne hidromorfološke karakteristike površinskih voda pojedinačno i kumulativno. Ključni elementi analize pritiska i utjecaja s aspekta hidromorfoloških promjena navedeni su u tablici 1.

Tablica 1. Ključni elementi analize hidromorfoloških pritisaka i utjecaja

Ljudska aktivnost	Fizička promjena vodnog resursa	Utjecaj
<ul style="list-style-type: none"> urbani razvoj zaštita od poplava proizvodnja el. energije vodoopskrba poljoprivreda plovidba eksploatacija riječnog materijala turizam, ribarstvo i rekreacija. 	<ul style="list-style-type: none"> kanaliziranje vodotoka u naseljenim mjestima izgradnja raznih objekata za prijem površinskih i / ili otpadnih voda iz zaobalja produbljivanje korita izgradnja nasipa i / ili obaloutvrda uklanjanje riječnog nanosa izgradnja brana / akumulacija prekid kontinuiteta uslijed izgradnje brana, ustava i pratećih objekata izgradnja raznih vodozahvatnih objekata 	<ul style="list-style-type: none"> promjena u poprečnom i uzdužnom profilu vodotoka promjena karakteristika vodnog režima promjena u eroziji i transportu sedimenta presijecanje kontinuiteta rijeke i / ili staništa promjena u lateralnoj povezanosti s prirodnim poplavnim područjem i / ili močvarama prekidanje povezanosti površinskih i podzemnih voda

Identifikacijom hidromorfoloških pritisaka koji utječu na prekid kontinuiteta vodotoka i staništa, izmjene u hidrološkom režimu te izmjene u morfologiji riječnog korita, daju se u nastavku (tablica 2) grupe i tipovi pritisaka.

Tablica 2. Grupe i tipovi hidromorfoloških pritisaka

Grupa pritiska	Tip pritiska
Longitudinalni (uzdužni) prekid kontinuiteta vodotoka i staništa	1. Prekid kontinuiteta vodotoka i puteva migracije riba <i>Pritisaci:</i> brane i akumulacije izgrađene za potrebe navodnjavanja, korištenja hidroenergije, zahvaćanje vode za piće; druge vrste pregrada.
Hidrološka promjena	2. Nedovoljan ekološki protok nizvodno od pregradnog mjesta <i>Pritisaci:</i> brane i akumulacije izgrađene za potrebe navodnjavanja, korištenja hidroenergije, zahvaćanje vode za piće; druge vrste pregrada.
	3. Efekti akumulacije Dijelovi vodotoka na koje su utjecali promijenjeni uvjeti protoka uzvodno (i) umjetne prepreke (promjena karaktera vodotoka iz rijeke u jezero) ili (i) eksploatacije riječnog materijala. <i>Pritisaci:</i> brane i akumulacije izgrađene za potrebe navodnjavanja, korištenja hidroenergije, zahvaćanje vode za piće; druge vrste pregrada.

Grupa pritiska	Tip pritiska
Hidrološka promjena	4. Nagle umjetne promjene razine vode kod vršnog rada hidroelektrana (tzv. hydropeaking) Dijelovi vodotoka nizvodno od umjetnih pregrada / hidroenergetskih objekata pod utjecajem vršnog rada hidroelektrana. <i>Pritisici:</i> brane i akumulacije izgrađene za potrebe korištenja hidroenergije, druge vrste pregrada.
Morfološke promjene	5. Promjene prirodnog morfološkog stanja vodotoka <i>Pritisici:</i> Širok raspon korištenja voda, uključujući zaštitu od kojih su najvažnije: poljoprivreda, zaštita od poplava, zaštita urbanih zona, industrija, korištenje hidroenergije, navigacija, ...

U ovome radu obrađena je problematika znatno promijenjenih i umjetnih vodnih tijela s naglaskom na identifikaciju hidromorfoloških promjena čiji je uzrok korištenje voda za potrebe HEP-a (izgradnja brana i njima pripadajućih akumulacija, izgradnja objekata u cilju proizvodnje električne energije).

4. IDENTIFIKACIJA I ODREĐIVANJE ZNATNO PROMIJENJENIH I UMJETNIH VODNIH TIJELA

Vodno tijelo može biti određeno kao znatno promijenjeno (HMWB) ili umjetno (AWB) ukoliko je prošlo proceduru određivanja prema shemi iz [3], koja se daje u nastavku.

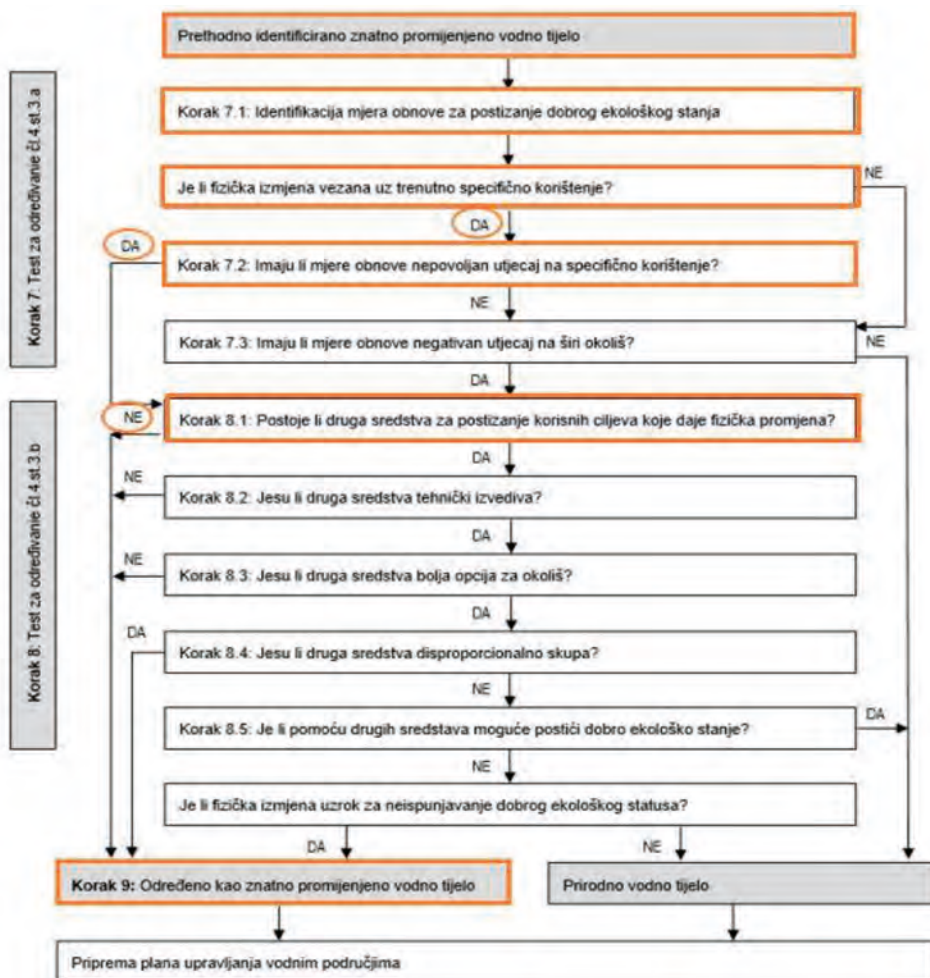
Ukoliko nema značajnog negativnog efekta na specifičnu upotrebu niti po širu okolinu, ili postoje „druga sredstva“ koja mogu dati korisne rezultate, onda se vodno tijelo smatra prirodnim.

Kroz dijagrame u nastavku daje se procedura određivanja znatno promijenjenih i umjetnih vodnih tijela, čije je hidromorfološko stanje posljedica hidroenergetskog korištenja voda na postojećim HEP-ovih objektima.

Analize su provedene za dionice vodnih tijela na slivnim područjima: Drave, Cetine, Rječine, Krke, Kupe, Dobre, Ličanke i Dubračine, Like i Gacke te na području, Zavrrelja, Dubrovnika i Velebita. Ukupno su analizirana 94 vodna tijela. Prilikom analiza vodnih tijela korišteni su GIS prikazi.


4.1. Koraci koji vode do određivanja “znatno promijenjenog” vodnog tijela

Na dijagramu (slika 1) daje se procedura određivanja znatno promijenjenih vodnih tijela, čije je hidromorfološko stanje posljedica hidroenergetskog korištenja voda na postojećim HEP - ovih objektima. Prema [3], postupak određivanja znatno promijenjenih vodnih tijela obuhvaća korake od 7 do 9, koji se sastoje od podkoraka. Dijagram pokazuje da kod znatno promijenjenih vodnih tijela njihova fizička izmjena je vezana uz specifično korištenje (proizvodnja el. energije) te bi mjere obnove odnosno bilo kakve intervencije na objektima i samim vodnim tijelima imale nepovoljan utjecaj na specifično korištenje te se stoga vodno tijelo definira kao znatno promijenjeno.



Slika 1. Koraci koji vode do određivanja znatno promijenjenog vodnog tijela [3]

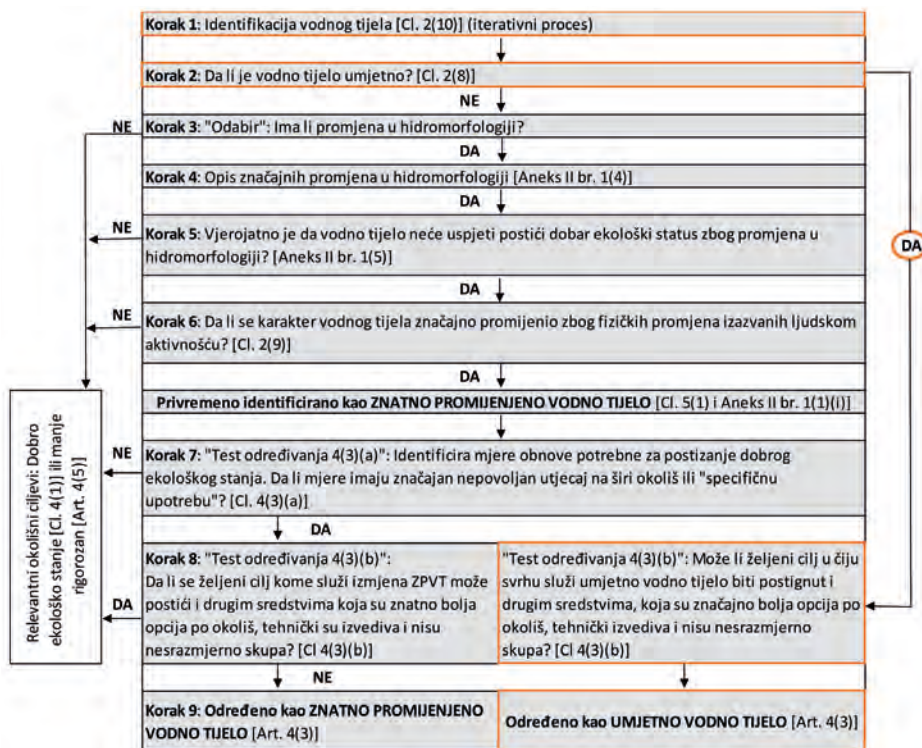
Primjer određivanja znatno promijenjenog vodnog tijela daje se u nastavku na slici 2. Uz kratki opis odnosno ulogu vodnog tijela u hidroenergetskom sustavu navedene su i hidromorfološke promjene kojem je vodno tijelo izloženo s osvrtom na mjere obnove te na alternativna sredstva za postizanje korisnih ciljeva.

Korak 7: Test za određivanje čl. 4 st. 3a	Šifra vodnog tijela:	
	Prethodno identificirano znatno promijenjeno vodno tijelo: Akumulacija HE Varaždin	
	Korak 7.1: Identifikacija mjera obnove za postizanje dobrog ekološkog stanja	
Je li fizička izmjena vezana uz trenutno specifično korištenje?		<input checked="" type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NE
Obrazloženje: Akumulacija HE Varaždin je integralni dio hidroenergetskog sustava rijeke Drave koji čine 3 hidroelektrane (HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava). HE Varaždin je prva u nizu lanca dravskih hidroelektrana u Republici Hrvatskoj. Akumulacija zapremine od 8 hm ³ je nastala izgradnjom nasipa, te nasutom i betonskom (pokretnom) branom. Max. visina nasute brane je 12,5 m, a betonske (pokretne) 19,7 m. Akumulacija omogućava dnevno izravnjanje protoka i osigurava proizvodnju vrhne energije. Kao integrirani dio sustava Drava, HE Varaždin prosječno godišnje proizvodi 450 GWh električne energije. (Poglavlje 4)		
Korak 7.2: Imaju li mjere obnove nepovoljan utjecaj na specifično korištenje		<input checked="" type="checkbox"/> DA <input type="checkbox"/> NE
Obrazloženje: Hidromorfološke promjene vodnog tijela nastale kao posljedica izgradnje brane, formiranja akumulacije i rada hidroelektrane odnose se na: <ul style="list-style-type: none"> • hidrološki režim: <ul style="list-style-type: none"> - promjena u količini i dinamici vodenog toka: promjena vodnog tijela iz tekućice u stajašću, promjene u razinama s posebno naglašenim učincima promjene u danu - promjena veze podzemnih i površinskih voda (građevine); • kontinuitet rijeke: <ul style="list-style-type: none"> - izgradnjom brane kojom je formirano akumulacijsko jezero došlo je do prekida longitudinalnog kontinuiteta rijeke Drave (uzdužna povezanost vodnih tijela) čime je onemogućena nesmetana migracija biota na lokaciji brane, i • morfološke uvjete: <ul style="list-style-type: none"> - promjena u strukturi i sedimentu dna (promjene vezanih uz eroziju/taložanje); - promjena (varijacije) širine i dubine korita: tlocrtni oblik vodnog tijela (na dijelu gdje vodotok prolazi kroz akumulacijsko jezero kao i do promjene njegovog poprečnog i uzdužnog presjeka, promijenjen je stupanj lateralnog kretanja riječnog korita); - izgradnjom betonske brane prisutan je umjetan materijal u koritu; - promjena u strukturi obalnog pojasa: izgradnjom nasipa kojima je formirano akumulacijsko jezero poremećena je interakcija korita i prirodnog poplavnog područja, te je izmijenjena vrsta/struktura vegetacije na obalama i okolnom zemljištu unutar buffer zone (10m). Moguće mjere obnove kojima bi se smanjile ili uklonile navedene promjene vodnog tijela imaju nepovoljan utjecaj na hidroenergetsko korištenje vode u sustavu hidroelektrana na Dravi (HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava). Naime, eventualne mjere obnove koje bi se odnosile na ponovnu uspostavu kontinuiteta rijeke odnosno vraćanje u prvobitno stanje morfoloških uvjeta bi u potpunosti onemogućilo hidroenergetsko korištenje vode na hidroenergetskom postrojenju Varaždin, a eventualne mjere koje bi imale za cilj smanjenje promjena u dnevnom protoku u značajnoj bi mjeri umanjile učinkovitost u radu postrojenja Varaždin. Nastavno, navedene aktivnosti bi narušile učinkovitost rada cjelokupnog sustava hidroenergetskog korištenje vode u sustavu hidroelektrana na Dravi (HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava).		
Korak 8: Test za određivanje čl. 4 st. 3b	Korak 8.1: Postoje li druga sredstva za postizanje korisnih ciljeva koje daje fizička promjena?	
	Obrazloženje: Druga sredstva za postizanje korisnih ciljeva koji se postižu radom sustava hidroelektrana na Dravi u okolišnom i tehničko-ekonomskom smislu nisu bitno povoljnija pa samim time niti opravdana. Naime, nadoknada godišnje energije koja se proizvede na sustavu hidroelektrana na Dravi proizvodnjom na drugim vrstama postrojenja, bilo da je riječ o korištenju neobnovljivih izvora energije (termoelektrane, nuklearne elektrane) ili drugim obnovljivim izvorima energije (solarne, vjetroelektrane), bi podrazumijevalo dodatna značajna ulaganja u izgradnju novih postrojenja, značajne promjene u arhitekturi energetskog sustava Republike Hrvatske s obzirom na mogućnost vršnog rada a svakako bi imale i određene, ako ne i značajnije, negativne utjecaje na okoliš.	
Korak 9: Određeno kao znatno promijenjeno vodno tijelo		

Slika 2. Primjer određivanja znatno promijenjenog vodnog tijela [4]


4.2. Koraci koji vode do određivanja “umjetnog” vodnog tijela

Na dijagramu (slika 3) daje se procedura određivanja umjetnih vodnih tijela, čije je hidromorfološko stanje posljedica hidroenergetskog korištenja voda na postojećim HEP - ovim objektima. Za određivanje umjetnih vodnih tijela prikazani su koraci koji vode do njegeve identifikacije.



Slika 3. Koraci koji vode do određivanja umjetnog vodnog tijela [3]

Primjer određivanja umjetnog vodnog tijela daje se u nastavku na slici 4. Navodi se kratki opis odnosno uloga vodnog tijela u hidroenergetskom sustavu s testom određivanja umjetnog vodnog tijela uz obrazloženje.

Šifra vodnog tijela: Prethodno identificirano umjetno vodno tijelo: Dovodni i odvodni kanal HE Varaždin	
↓	
Korak 1: Identifikacija vodnog tijela	
↓	
Korak 2: Da li je vodno tijelo umjetno?	
DA NE	
<p>Obrazloženje: Predmetna dionica je dovodni i odvodni kanal HE Varaždin identificirana kao umjetno vodno tijelo.</p> <p>Ovo vodno tijelo formirano je ljudskom aktivnošću na mjestu gdje ranije nije postojalo vodno tijelo te ono nije oformljeno direktnom fizičkom izmjenom, pomicanjem ili poravnanjem postojećeg vodnog tijela.</p> <p>Dovodni i odvodni kanal izgrađeni su kao dio sustava HE Varaždin s funkcijom dovođenja vode rijeke Drave koja se koristi za proizvodnju električne energije u strojarnici HE Varaždin, te za odvodnju iste (Poglavlje 4).</p>	
↓	
Korak 8: Test određivanja - može li željeni cilj u čiju svrhu služi umjetno vodno tijelo biti postignut i drugim sredstvima koja su značajno bolja po okoliš, tehnički izvodljiva i nisu nesrazmjerno skupa?	
DA NE	
<p>Obrazloženje: Dovodni i odvodni kanal su integralni dio hidroenergetskog sustava rijeke Drave. Iskorištavanjem vode u strojarnici HE Varaždin za proizvodnju električne energije te njihovim odvođenjem omogućava se efikasno višestruko korištenje voda. Željeni cilj u čiju svrhu služi umjetno vodno tijelo ne može se postići drugim sredstvima koja su značajno bolja po okoliš, tehnički izvodljiva i nisu nesrazmjerno skupa.</p>	
↓	
Korak 9: Određeno kao umjetno vodno tijelo	

Slika 4. Primjer određivanja umjetnog vodnog tijela [4]

Od ukupno analizirana 94 vodna tijela utvrđeno je da karakteristike znatno promijenjenih ima njih 61 dok su 33 umjetna vodna tijela. Najviše znatno promijenjenih vodnih tijela utvrđeno je na slivu Ličanke i Dubračine, dok je najviše umjetnih vodnih tijela utvrđeno na slivu Drave (tablica 3).

Tablica 3. Broj znatno promijenjenih i umjetnih vodnih tijela po pojedinom području

PODRUČJE	BROJ ZNATNO PROMIJENJENIH VODNIH TIJELA	BROJ UMJETNIH VODNIH TIJELA
SLIV DRAVE	12	7
SLIV CETINE	5	3
SLIV RJEČINE	2	1
ZAVRELJE	1	1
DUBROVNIK	0	1
SLIV KRKE	5	4
SLIV KUPE	2	1
SLIV DOBRE	6	1
SLIV LIČANKE I DUBRAČINE	15	5
SLIV LIKE I GACKE	6	6
VELEBIT	7	3
UKUPNO	61	33

ZAKLJUČAK

Za potrebe izrade „Plana upravljanja vodnim područjima do 2027.“ bilo je potrebno izraditi Tehničku podlogu za proglašavanje znatno promijenjenih i umjetnih vodnih tijela. Tehnička podloga odnosila se na vodna tijela čije je hidromorfološko stanje posljedica hidroenergetskog korištenja voda na postojećim HEP-ovih objektima.

Dio tih vodnih tijela je u prethodnom planu bio naveden kao „kandidati za proglašavanje znatno promijenjenih i umjetnih vodnih tijela“ te je trebalo utvrditi njihov status.

Analize su provedene za dionice vodnih tijela na slivnim područjima: Drave, Cetine, Rječine, Krke, Kupe, Dobre, Ličanke i Dubračine, Like i Gacke te na području, Zavrelja, Dubrovnika i Velebita. Ukupno su analizirana 94 vodna tijela.

Od ukupno analizirana 94 vodna tijela utvrđeno je da karakteristike znatno promijenjenih ima njih 61 dok su 33 umjetna vodna tijela. Najviše znatno promijenjenih vodnih tijela utvrđeno je na slivu Ličanke i Dubračine, dok je najviše umjetnih vodnih tijela utvrđeno na slivu Drave.

LITERATURA

- [1] Hrvatska elektroprivreda d.d. (2000.): *Hidroelektrane u Hrvatskoj*, Zagreb
- [2] Vlada Republike Hrvatske (2016.): *Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021.*, Zagreb
- [3] Radna grupa 2.2 - HMWB (2003.): *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) - Guidance document n.o 4 - Identification and Designation of Heavily Modified and Artificial Water Bodies*, Luxembourg
- [4] HEP - Proizvodnja d.o.o (2022.): *Tehnička podloga za proglašavanje znatno promijenjenih i umjetnih vodnih tijela zbog utjecaja postojećih HEP - ovih hidroenergetskih postrojenja na hidromorfološko stanje voda*, Zagreb

AUTORI

Vedrana Ričković, dipl. ing. građ. ^a

Boris Vrcelj, dipl. ing. geol. ^a

Monika Babačić, dipl. inž. kem. ^b

Tonći Blažević, dipl. ing. el. ^c

^a Institut za elektroprivredu d.d., Kupska ulica 2, Zagreb, 10000, Hrvatska, vedrana.rickovic@ie-zagreb.hr, boris.vrcelj@ie-zagreb.hr

^b HEP Proizvodnja d.o.o., Ulica grada Vukovara 37, Zagreb, 10000, Hrvatska, monika.babacic@hep.hr

^c HEP Proizvodnja d.o.o., Ivana Gundulića 42, Split, 21000, Hrvatska, tonci.blazevic@hep.hr



R 4.07.

UTJECAJ ULAZNIH PARAMETARA NA DEFINIRANJE PRITISAKA IZ POLJOPRIVREDE NA KAKVOĆU POVRŠINSKIH VODA U ZAGREBAČKOJ ŽUPANIJ

**Marina Bubalo Kovačić, Tena Smuđ, Marija Romić,
Monika Zovko, Marko Reljić, Davor Romić**

SAŽETAK: U intenzivno korištenim poljoprivrednim prostorima uobičajena je praksa povećane primjene mineralnih i organskih gnojiva te drugih agrokemikalija s mogućom posljedicom onečišćenja vodnih resursa. Osim same poljoprivredne prakse, neki od glavnih čimbenika rizika od onečišćenja voda su reljef, klimatske karakteristike, osjetljivost tla na propuštanje potencijalno štetnih tvari i prirodna ranjivost vodonosnika. Da bi se spriječilo onečišćenje vode uzrokovano nitratima iz poljoprivrede, Europska komisija je 1991. godine usvojila Nitratnu direktivu (91/676/EEC) kojom je definiran niz uvjeta koje države članice EU moraju ispuniti, uključujući: monitoring površinskih i podzemnih voda (s obzirom na koncentraciju nitrata i eutrofikaciju), identifikaciju voda koje su onečišćene ili su u riziku od onečišćenja, utvrđivanje ranjivih područja, uspostavu i dugoročnu provedbu dobre poljoprivredne prakse te donošenje akcijskih programa za prevenciju i smanjenje onečišćenja nitratima. U Republici Hrvatskoj se prethodno nabrojene mjere sustavno provode, sve s ciljem postizanja dobrog stanja voda. Kroz projekt *Preispitivanje područja podložnih eutrofikaciji i područja ranjivih na nitrate* je izvršena detaljna analiza kakvoće površinskih i podzemnih voda kroz dvadesetogodišnje razdoblje, učinjena je prostorna analiza intenziteta biljne i stočarske proizvodnje, analizirana je ranjivost vodonosnika i osjetljivost tala na propuštanje potencijalnih onečišćivala, a u radu je prikazana statistička obrada stanja površinskih voda za područje Zagrebačke županije.

KLJUČNE RIJEČI: Stanje voda, Stanje trofičnosti, Korištenje zemljišta, Gnojidba

INFLUENCE OF INPUT PARAMETERS ON DEFINING AGRICULTURAL PRESSURES ON THE QUALITY OF SURFACE WATER IN ZAGREB COUNTY

ABSTRACT: In intensively used agricultural areas, mineral and organic fertilizers and other agrochemicals are often applied increasingly, which can lead to pollution of water resources. In addition to agricultural practice, some of the main risk factors of water pollution include terrain relief, climate conditions, soil sensitivity to leakage of potentially harmful substances, and natural vulnerability of aquifers. In order to prevent water pollu-

tion by nitrates from agriculture, the European Commission adopted the Nitrates Directive (91/676/EEC) in 1991, which established a number of conditions that EU member states must meet, including: monitoring of surface waters and groundwater (in terms of nitrate concentration and eutrophication), identification of waters that are polluted or at risk of pollution, identification of vulnerable zones, introduction and long-term implementation of good agricultural practice, and adoption of action programs to prevent and reduce nitrate pollution. In the Republic of Croatia, the stated measures are systematically implemented with the aim of achieving good water status. Within the framework of the project *Review of Eutrophic and Nitrate Vulnerable Areas*, a detailed analysis of the quality of surface waters and groundwater over a twenty-year period was carried out, a spatial analysis of the intensity of crop and livestock production was made and the vulnerability of aquifers and the sensitivity of the soil to the leakage of potential pollutants was analysed. The paper presents a statistical evaluation of surface waters in area of the Zagreb County.

KEYWORDS: Water status, Trophic state, Land use, Fertilization

1. UVOD

Kvaliteta vode ocjenjuje se pomoću različitih pokazatelja podijeljenih u tri kategorije: fizički, kemijski i biološki. Fizički pokazatelji uključuju prisutnost tvari, mutnoću, boju, okus, miris i temperaturu vode. Kemijski pokazatelji obuhvaćaju ukupne soli, reakciju, otopljenje anione i katione, organske tvari i metale. Biološki pokazatelji uključuju stupanj saprobnosti, stupanj biološke proizvodnje, mikrobiološke pokazatelje, stupanj otrovnosti i indeks razlike, pri čemu stupanj biološke proizvodnje odražava kvalitetu vode. Stupanj trofičnosti mjeri biološku produktivnost vodnih sustava i ovisi o različitim čimbenicima kao što su veličina vodnog tijela, hidrologija sliva, prirodne karakteristike okoliša i način korištenja zemljišta. Vodni sustavi se klasificiraju prema stupnju trofije: siromašni hranjivima - oligotrofni i ultraoligotrofni, srednje bogati hranjivima - mezotrofni i bogati hranjivima - eutorfni i hipereutorfni.

Eutrofikacija se javlja kada voda postane obogaćena hranjivim tvarima, što potiče rast algi i biljnih vrsta, smanjujući razinu kisika u vodi i šteteći vodenim organizmima, uključujući ribe. Na pojavu eutrofikacije, uz obogaćivanje voda hranjivim tvarima, utječu i brojni drugi faktori, poput temperature vode, brzine toka vode, prozirnosti vode te zasićenje kisikom. Mutnoća vode jedan je od važnijih parametara kvalitete vode koji je usko povezan s produktivnošću vodnih tijela te se često koristi kao pokazatelj trofičkog stanja (Stefanidis i drugi, 2023). Dok je prirodna eutrofikacija pozitivna za ekosustav, jer dovodi do povećanja bioloških resursa i rijetko uzrokuje negativne pojave, antropogeni utjecaj može narušiti ekološku ravnotežu uz vrlo štetne posljedice (Miliša i drugi, 2019). Razni antropogeni procesi i aktivnosti doprinose eutrofikaciji voda, poput: ispuštanje hranjivih tvari otpadnim vodama, ispiranje iz poljoprivrednog zemljišta, deforestacija slivnih područja, i drugo. Intenzivna poljoprivredna proizvodnja, osobito u uvjetima navodnjavanja, također se smatra vrlo odgovornom (Ondrašek i drugi, 2021). Određivanje stupnja trofije vode može pomoći u razumijevanju ekološkog stanja, a različiti izvori onečišćenja, uključujući raspršene i točkaste izvore, doprinose problemu. Hranjive tvari mogu dospijevati u vode različitim putem, a ljudske aktivnosti i kemijska svojstva hranjivih tvari igraju ključnu ulogu u njihovom prijenosu.

U Hrvatskoj razlikujemo dvije biogeografske cjeline: Panonska i Dinaridska ekoregija. Prilikom ocjenjivanja stupnja trofije promatraju se pokazatelji ukupni dušik i ukupni fosfor zajedno. U slučaju da su oba pokazatelja u različitim stupnjevima trofije ocjena se daje po nepovoljnijem pokazatelju, tj. pokazatelju koji zauzima viši (lošiji) stupanj trofije prema utvrđenim granicama (Miliša i drugi, 2019). Za utvrđivanje stanja trofije i posljedično stanja površinskih voda u Zagrebačkoj županiji korištena je Tablica 1.

Tablica 1. Granice prosječnih godišnjih vrijednosti koncentracije hranjivih tvari za određivanje stupnja trofije za Panonsku ekoregiju (Miliša i drugi, 2019)

Stupanj trofije	TP (mgP/l)	TN (mgN/l)
Oligotrofan - O	< 0,025	< 0,8
Oligotrofan - mezotrofan O/M	0,025 - 0,15	0,8 - 1,6
Mezotrofan - M	> 0,15 - 0,25	> 1,6 - 2,4
Mezotrofan - eutrofan - M/E	> 0,25 - 0,4	> 2,4 - 3,2
Eutrofan - E	> 0,4	> 3,2

Hranjive tvari dospijevaju u površinske vode otjecanjem oborina ili kao voda korištena u navodnjavanju i drenažnim sustavima. Također, hranjive tvari mogu prodrijeti u podzemne vode putem oborina ili vode koja se koristi za navodnjavanje, dok se u atmosferu ispuštaju putem isparavanja. Unutar vodnog ciklusa, koncentracije hranjivih tvari podliježu utjecaju različitih čimbenika. Fizički čimbenici, kao što su vrsta tla, geološke karakteristike i nagib terena, igraju značajnu ulogu, ali važni su i biološki i geokemijski procesi koji mogu promijeniti kemijski oblik hranjivih tvari i njihov prijenos iz jednog dijela vodnog ciklusa u drugi.

Ljudske aktivnosti, poput navodnjavanja, crpljenja podzemnih voda i izgradnje nepropusnih površina, mogu značajno utjecati na transport hranjivih tvari. Ovi čimbenici mogu utvrditi koncentracije hranjivih tvari u vodi, čak i u područjima s sličnim karakteristikama korištenja zemljišta i gnojidbe. Na primjer, istraživanje Xu i suradnika (2007) je pokazalo smanjenje koncentracije nitrata u vodonosniku u Arizoni zbog urbanizacije i promjena u poljoprivrednim površinama. Rezultati istraživanja Showers i suradnika (2008) nisu pokazali značajne razlike u koncentraciji nitrata između vode za piće i drenažne vode, sugerirajući da su koncentracije posljedica dugotrajnog ispiranja organskih gnojiva s poljoprivrednih površina. S druge strane, Drake i Bauder (2005) su otkrili povećanje koncentracije nitrata s povećanjem broja stanovnika.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Područje istraživanja

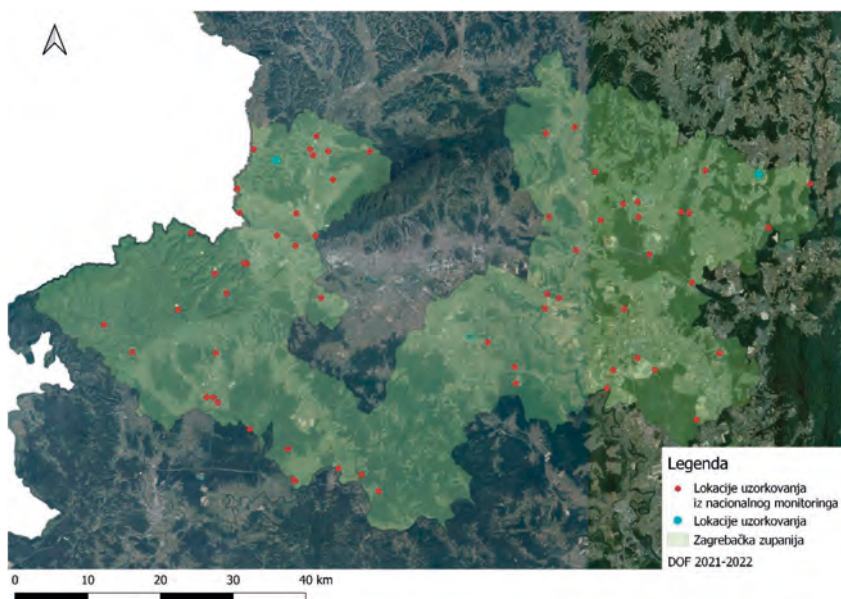
Zagrebačka županija je administrativna cjelina središnjeg djela sjeverozapadne Hrvatske. Obuhvaća 3.078 km² te je površinom 6. po veličini županija u zemlji. Sjedište županije je Grad Zagreb. Prema posljednjem popisu stanovnika iz 2021. godine Zagrebačku županiju naseljava 299.985 stanovnika što ju, prema broju stanovnika, čini trećom hrvatskom županijom (iza Grada Zagreba i Splitsko - dalmatinske županije). Zagrebačku županiju čini 9 gradova, 25 općina te 697 naselja.

2.2. Baza kakvoće površinske vode unutar Zagrebačke županije

Kakvoća površinskih voda ispitivana je na tekućicama (rijekama, kanalima) i stajaćicama (akumulacijama i retencijama) prema planu nacionalnog monitoringa voda u Republici Hrvatskoj, a u sklopu baze površinskih voda obrađena su i izvorišta. Za statističku obradu u ovom radu uzeti su uzorci iz Zagrebačke županije. Na području Zagrebačke županije ukupno postoji 66 postaja, od kojih se 60 nalazi unutar poljoprivrednog zemljišta (Romić i drugi, 2022), dok se ostalih 6 postaja nalazi unutar šumskog zemljišta (Slika 1), a analizirano je razdoblje 2015. - 2021. Osim postaja iz nacionalnog monitoringa, izvršeno je uzorkovanje površinske (bunarske) vode u dva navrata na dvije odabrane lokacije unutar Zagrebačke županije; jedna u zapadnom dijelu županije u općini Marija Magdalena, a druga krajnjem istočnom dijelu u općini Žabnica. Lokacije su odabrane na način da se nalaze na poljoprivrednim gospodarstvima, a da pokrivaju područje koje nije zastupljeno u nacionalnom monitoringu (Slika 1).

2.3. Statistička obrada rezultata

Pri obradi rezultata iz nacionalnog monitoringa i prikupljenih uzoraka, izvršena je osnovna deskriptivna statistička analiza potrebnih parametara (TP i TN): minimalna, maksimalna te prosječna koncentracija analiziranih parametara, standardna devijacija i koeficijent varijance. Na temelju tih pokazatelja utvrđeno je stanje te potencijal trofije, odnosno stanje voda. Pomoću jednofaktorske analize varijance (one-way analysis of variance- ANOVA) utvrdilo se prihvaća li se ili odbacuje početno postavljena hipoteza, a ta je da postoji direktna povezanost intenziteta biljne i stočarske poljoprivredne proizvodnje s koncentracijama nitrata u analiziranim uzorcima.

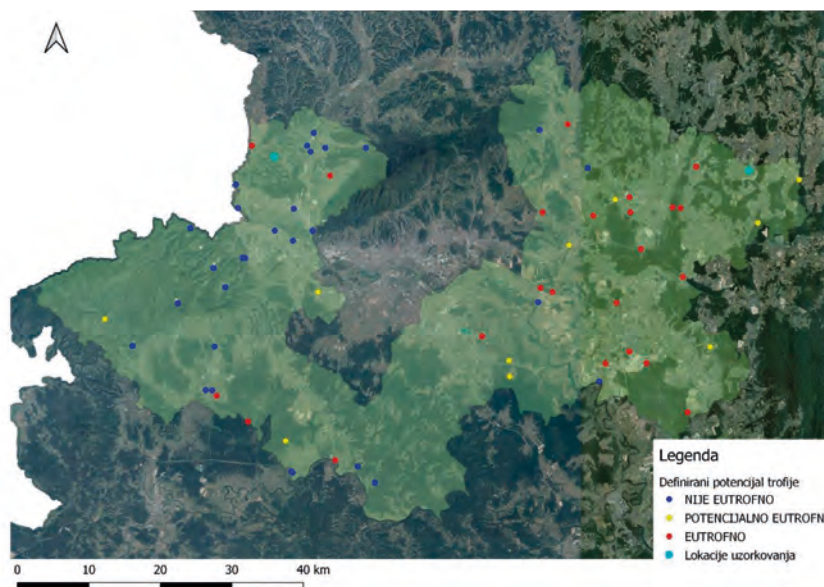


Slika 1. Prikaz lokacija uzorkovanja iz nacionalnog monitoringa i dvije izdvojene lokacije uzorkovanja na području Zagrebačke županije

REZULTATI

Iz slike 2. jasno je vidljiva razlika u potencijalu trofije između zapadnog i istočnog dijela županije; postaje u zapadnom dijelu su većinski definirane kao „nije eutrofno“, dok su na istoku većinski definirane kao „eutrofno“. Južni dio je svojevrsni prijelaz sa zapada na istok i po definiranom potencijalu trofije koji nije izrazito dominantan niti u jednoj kategoriji. Navedeno je potvrđeno i u prikupljenim uzorcima s dvije odabrane lokacije jer je koncentracija nitrata na lokaciji s istoka županije u oba uzrokovanja bila značajno viša u odnosu na uzorak sa zapada županije. U prvom uzorkovanju na lokaciji Žabnica koncentracija nitrata je bila $75,3 \text{ mgNO}_3/\text{l}$, a na lokaciji Marija Magdalena $13,8 \text{ mgNO}_3/\text{l}$, a u drugom je ta razlika i puno izraženija - $146 \text{ mgNO}_3/\text{l}$ u odnosu na $11,1 \text{ mgNO}_3/\text{l}$.

Preklapanjem 60 lokacija monitoringa s bazom korištenja poljoprivrednog zemljišta, utvrđeno je da se samo njih 11 nalazi na baš korištenoj ili zapuštenoj poljoprivrednoj parceli, što je samo 18 % analiziranih lokacija. Od 11 lokacija koje se nalaze na poljoprivrednoj površini, njih 9 je na parceli koja je klasificirana kao oranica, 1 na livadi, a jedna na nekorištenoj parceli te zbog uniformnosti namjene zemljišta, a i malog broja ulaznih podataka, nije bilo moguće izvršiti ANOVA analizu u kojoj bi se utvrdilo utječe li korištenje zemljišta na prosječne ili maksimalne koncentracije nitrata u površinskim vodama.



Slika 2. Prikaz lokacija uzorkovanja iz nacionalnog monitoringa unutar područja istraživanja s obzirom na definirani potencijal trofije

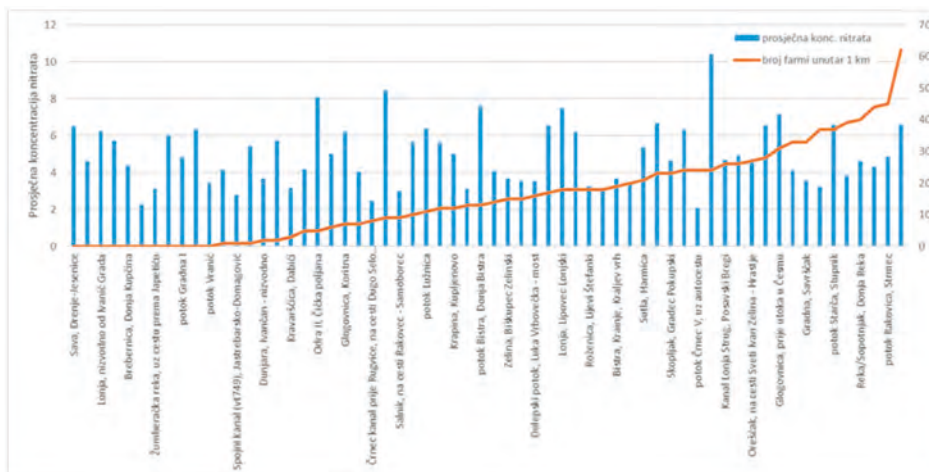
U analizi utjecaja stočarske proizvodnje na kakvoću voda, odnosno utvrđene koncentracije nitrata, provedena je sljedeća preliminarna procedura:

- 1) svaka lokacija monitoringa je postavljena kao središte kruga radijusa 10 km;
- 2) baza prostornog smještaja registriranih farmi dodana je na podlogu;
- 3) izvršeno je prostorno preklapanje definiranih krugova i prostornog smještaja farmi;

- 4) tim preliminarnim postupkom utvrđeno je da velik broj farmi unutar definiranog radijusa ne spada u područje Zagrebačke županije te je utvrđeno da treba smanjiti radijus na 1 km da bi se obuhvatile samo farme koje su unutar županije.

U sljedećem koraku provedena je ista analiza samo s radijusom od 1 km koja je rezultirala sljedećim: unutar nekih krugova nema niti jedne farme, takvih je 11, a maksimalni broj farmi koji okružuje neku lokaciju monitoringa iznosi 62. Pretpostavlja se da broj farmi koji se nalaze u radijusu od 1 km od lokacije monitoringa utječu na koncentracije nitrata i ta pretpostavka je testirana ANOVA analizom. Provedena je ANOVA analiza na temelju prosječnih i maksimalnih koncentracija nitrata te je utvrđeno da nema statistički značajne razlike u prosječnim koncentracijama nitrata ovisno o broju farmi unutar 1 km, a što je vidljivo i na Slici 3.

Stupci prikazuju prosječnu koncentraciju nitrata na svakoj lokaciji monitoringa i vidimo da se one kreću u rasponu od 2 do 10,4 mg/l. Linija predstavlja broj farmi unutar 1 km od lokacije uzorkovanja i vidimo da povećanje broja farmi ne uzrokuje i povećanje koncentracije nitrata, a to su potvrdili i rezultati ANOVA analize, odnosno post hoc Fisherovog testa kada su sve lokacije grupirane u istu grupu. Ista analiza provedena je i za maksimalne koncentracije nitrata jer je među njima veća varijabilnost, ali rezultati ANOVA-e opet pokazuju da se nulta hipoteza opet može prihvatiti, odnosno da ne postoji statistički značajna razlika između zabilježenih maksimalnih koncentracija nitrata na lokacijama monitoringa ovisno o broju farmi unutar 1 km od lokacije.



Slika 3. Usporedba prosječne koncentracije nitrata (mg/l) sa brojem farmi unutar 1 km od lokacije uzorkovanja

ZAKLJUČAK

Poljoprivredni prostor u Zagrebačkoj županiji nije ravnomjerno raspoređen zbog prirodnih i drugih čimbenika. Analiza ukupne poljoprivredne i stočarske proizvodnje na tom području otkriva razlike u korištenju poljoprivrednog zemljišta i broju stoke među općinama. Intenzitet biljne i stočarske proizvodnje je veći na istočnoj strani županije u usporedbi s zapadnom stranom. Stanje voda na istočnoj strani županije je dominantno loše - vrlo loše. Općine na zapadnoj strani Zagrebačke županije imaju manje opterećenje poljoprivrednim zemljištem i brojem stoke pa je stanje voda na toj strani županije dominantno dobro - vrlo dobro. Ipak, temeljem prevedene statističke analize, zaključuje se da poljoprivreda u Zagrebačkoj županiji nije dominantan čimbenik povećanja koncentracije nitrata u površinskim vodama. Brojni drugi faktori, kao što su utjecaj zagrebačkog vodonosnika, različit reljef, vegetacija, urbanizacija i neodgovarajuće zbrinjavanje otpada i otpadnih voda, značajno pridonose povećanju koncentracija hranjivih tvari, uključujući nitrata, te utječu na ukupnu kvalitetu vode.

ZAHVALA

Istraživanje prezentirano u okviru ovog rada financirano je projektom *Preispitivanje područja podložnih eutrofikaciji i područja ranjivih na nitrate* koji je financiran od strane Hrvatskih voda.

LITERATURA

- [1] Drake, V. M., Bauder, J. W. (2005). *Ground water nitrate - nitrogen trends in relation to urban development*, Helena, Montana, 1971-2003. *Ground Water Monitoring & Remediation* 25: 118-130
- [2] Miliša, M., Gligora Udovič, M., Žutinić, P. (2019). *Izrada kriterija za određivanje stupnja trofije stajaćica i tekućica*, Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno - matematički fakultet, Zagreb
- [3] Ondrasek, G., Bakić Begić, H., Romić, D., Brkić, Ž., Husnjak, S., Bubalo Kovačić, M. (2021). *A novel LUMNAqSoP approach for prioritising groundwater monitoring stations for implementation of the Nitrates Directive*. *Environmental sciences Europe*, 33: 23, 16, doi: 10.1186/s12302-021-00467-1
- [4] Romić, D., Bubalo Kovačić, M., Salajpal, K., Romić, M., Zovko, M., Ondrašek, G., Bakić, H., Husnjak, S., Reljić, M. (2022). *Preispitivanje područja podložna eutrofikaciji i područja ranjiva na nitrate*. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb
- [5] Showers, W. J., Genna, B., McDade, T., Bolich, R., Fountain, J.C. (2008). *Nitrate contamination in groundwater on an urbanized dairy farm*. *Environment Science Technology* 42: 4638-4688
- [6] Stefanidis, K., Varlas, G., Papaioannou, G., Papadopoulos, A., Dimitrou, E. (2023). *Assessing temporal variability of lake turbidity and trophic state of European lakes using open data repositories*. *Science of The Total Environment*, Volume 857, Part 3, 159618

- [7] Xu J., Baker L. A., Johnson, P. C. (2007). *Trends in ground water nitrate contamination in the Phoenix, Arizona region*. *Ground Water Monitoring & Remediation* 27: 49-56

AUTORI

doc. dr. sc. Marina Bubalo Kovačić ^a

Tena Smuđ, mag. ing. agr.^a

prof. dr. sc. Marija Romić ^a

izv. prof. dr. sc. Monika Zovko ^a

Marko Reljić, mag. ing. agr. ^a

prof. dr. sc. Davor Romić ^a

^a Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, Zagreb, 10 000, Hrvatska, mbubalo@agr.hr, tenasmud@yahoo.com, mromic@agr.hr, mzovko@agr.hr, mreljic@agr.hr, dromic@agr.hr



R 4.08.

EKOLOŠKO STANJE OTVORENIH VODA KORIŠTENIH ZA SLATKOVODNU AKVAKULTURU - STANJE ULAZNIH I IZLAZNIH VODOTOKA

Mirjana Štimac Varat

SAŽETAK: Akvakultura je djelatnost koja može imati utjecaj na kopnene vode u smislu onečišćenja organskim tvarima, što uzrokuje eutrofikaciju voda. Posebno se to odnosi na neoptimiziranu hranidbu što može uzrokovati nepotpuno iskorištavanje hrane i predstavljati dodatno organsko opterećenje za vodu i vodni okoliš. Međutim, kako su nizinjski vodotoci općenito pod većim antropogenim pritiskom, voda koja ulazi u proizvodne objekte također može biti granično zadovoljavajuće kvalitete. Uredbom o standardu kakvoće voda propisuju se elementi za ocjenjivanje stanja voda koje se određuje na temelju ekološkog i kemijskog stanja tijela ili skupine tijela površinskih voda. Ekološko stanje površinskih voda ocjenjuje se u odnosu na biološke, hidromorfološke te osnovne fizikalno - kemijske i kemijske elemente koji prate biološke elemente, a kemijsko stanje površinskih voda ocjenjuje se u odnosu na pokazatelje kemijskog stanja što je propisano Uredbom. Cilj ovog rada je pregledati i opisati ekološko i kemijsko stanje, temeljem podataka iz Plana upravljanja vodnim područjima do 2027., na vodnim tijelima koja se koriste za snabdijevanje i na vodnim tijelima iza odvodnih kanala najproduktivnijih ribnjaka. Ovim radom utvrditi će se i dostatnost postojećih mjernih postaja za utvrđivanje stanja u okolici nizinjskih ribnjaka. Temeljem rezultata predložiti će se mjere za očuvanje kakvoće vode i smanjenje antropogenog utjecaja na nizinjske vodotoke i ostala vodna tijela.

KLJUČNE RIJEČI: Akvakultura, Kakvoća vode, Antropogeni utjecaj, Nizinjski vodotoci, Ribnjaci

ECOLOGICAL STATE OF OPEN WATERS USED FOR FRESHWATER AQUACULTURE - STATE OF INLET AND OUTLET WATER COURSES

ABSTRACT: Aquaculture is an activity that can have an impact on inland waters in terms of pollution by organic substances which causes the eutrophication of water. This especially applies to non-optimized feeding, which can cause incomplete utilization of food and represent an additional organic load for water and the aquatic environment. However, since lowland watercourses are generally under greater anthropogenic pressure, the water entering production facilities can be of borderline satisfactory quality. The Regulation on

water quality standards proscribes the elements for evaluating the status of water, based on the ecological and chemical status of a body, or a group of bodies of water. The ecological status of surface waters is assessed in relation to the biological, hydromorphological and basic physico-chemical and chemical elements that accompany biological quality elements, and their chemical state which is proscribed by the Regulation. The aim of this paper is to review and describe the ecological and chemical status of water bodies used for supply and on the water bodies behind the drainage channels of the most productive ponds using the data from the Water area management plan until 2027. This work will determine the sufficiency of the existing measuring stations in the vicinity of the lowland ponds. Based on the results, measures will be proposed to preserve water quality and reduce the anthropogenic impact on lowland watercourses and other water bodies.

KEYWORDS: Aquaculture, Water quality, Anthropogenic influence, Lowland watercourses, Ponds

1. UVOD

Akvakultura je sastavni dio ribarstva, a bavi se uzgojem riba i drugih vodenih organizama, U Hrvatskoj se slatkovodna akvakultura odvija na dva načina: uzgojem toplovodnih (šaranskih, ciprinidnih) i hladnovodnih (pastrvskih, salmonidnih) vrsta. Najznačajniji je uzgoj šarana i pastrve, a uzgajaju se i bijeli amur, sivi i bijeli glavaš, smuč, som i štika, većinom u polikulturi sa šaranom (Treer i drugi, 1995.).

Šaranski ili ciprinidni ribnjaci su umjetno izgrađeni proizvodni objekti (uzgajališta), izgrađeni najčešće na zemljištu nepovoljnom za poljoprivrednu proizvodnju zbog močvarnog karaktera, za planski uzgoj toplovodnih vrsta riba u vodenom mediju, namijenjenih prvenstveno za ljudsku prehranu. Vodene površine ribnjaka ograđene su nasipima. Opskrba vodom na ribnjacima, puštanje u objekte, održavanje željene razine stupca vode i ispuštanje ovisi o pravilno dimenzioniranim hidroobjektima, a to su: brane ili ustave, dovodni kanali, napusti, ispusti, prepusti i odvodni kanali. Pomoću njih se osiguravaju dovoljne količine vode i manipulacija njome. Proizvodnja ribe u njima se u najvećoj mjeri odvija na način da se, uz prirodnu hranu (prvenstveno fito i zooplankton) čija se produkcija potiče agrotehničkim mjerama, a koja nastaje u uzgajalištu biološkim procesima, riba hrani i dodatnom hranom, najčešće žitaricama (kukuruz, pšenica, raž, ječam i slično). Proizvodni ciklus ribe u šaranskim ribnjacima u pravilu traje tri godine (Bojčić i drugi, 1982.).

Akvakultura kao grana poljoprivrede prepoznata je kao vrlo važna u ukupnom nacionalnom gospodarstvu i razvitku, ali je također prepoznata i kao izvor opterećenja voda zbog onečišćenja i hidromorfoloških promjena nastalih izgradnjom ribnjaka i zahvaćanjem voda.

Važno je napomenuti da su uzgajališta šarana sastavni dio ekološke mreže NATURA 2000 i međunarodno važnih područja za ptice te kao takva predstavljaju važna staništa divljih vrsta i pridonose očuvanju biološke raznolikosti (Nacionalni plan razvoja akvakulture za razdoblje do 2027. godine).

Cilj ovog rada je pregledati i opisati ekološko i kemijsko stanje, koje je preuzeto iz Plana upravljanja vodnim područjima do 2027., na vodnim tijelima koja se koriste za snabdjevanje i na vodnim tijelima iza odvodnih kanala najproduktivnijih ribnjaka: Crna mlaka,

Draganići, Grudnjak, Donji Miholjac. Dat će se analiza mreže postojećih mjernih postaja s kojih su rezultati mjerenja korišteni za ocjenu stanja te utvrditi njena reprezentativnost za praćenje utjecaja akvakulture na stanje vodnih tijela te prema izvedenom zaključku predložiti istraživački monitoring u svrhu utvrđivanja utjecaja aktivnosti akvakulture na stanje vodnih tijela rijeka o kojima ovisi slatkovodno ribarstvo Republike Hrvatske.

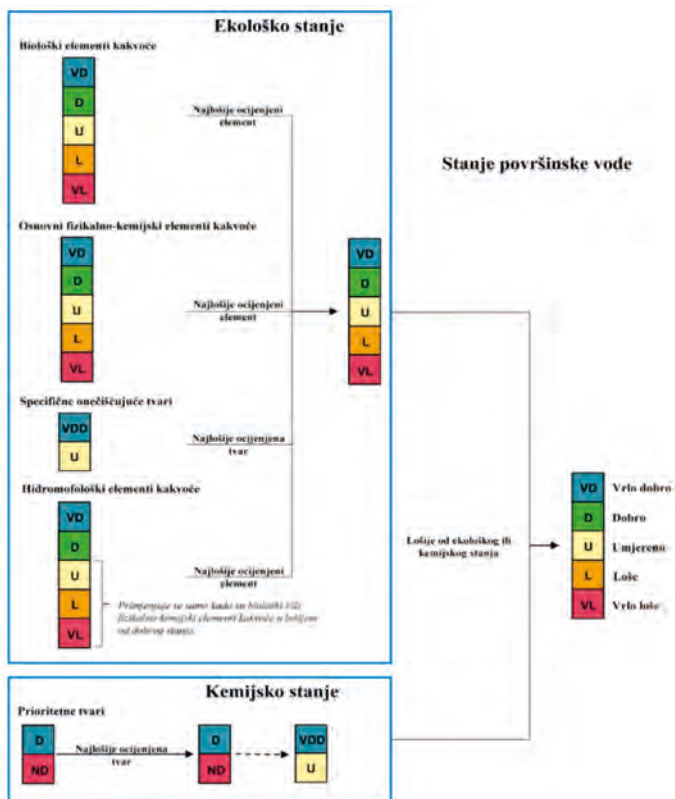
2. ELEMENTI ZA OCJENU STANJA / POTENCIJALA POVRŠINSKIH VODA

U Zakonu o vodama (Narodne novine, br. 66/19, 84/21 i 47/23) pojam „stanje površinske vode“ je općeniti pojam koji znači stanje tijela površinske vode određeno njezinim ekološkim stanjem / potencijalom i kemijskim stanjem, ovisno o tome koje je lošije. Stanje voda određeno je na razini vodnih tijela (jasno određenog i značajnog elementa površinske vode, kao što je jezero, akumulacija, potok, rijeka ili kanal, dio potoka, rijeke ili kanala) koja predstavljaju osnovne jedinice za analizu značajki i upravljanja kakvoćom voda. Izdvajanje tijela površinskih voda temelji se na tipologiji, odnosno povezanosti prirodnih bioloških zajednica i relevantnih abiotičkih značajki površinskih voda te namjeni određenih voda, izloženosti antropogenim opterećenjima i utjecajima, statusu zaštićenosti i slično (PUVP do 2027.).

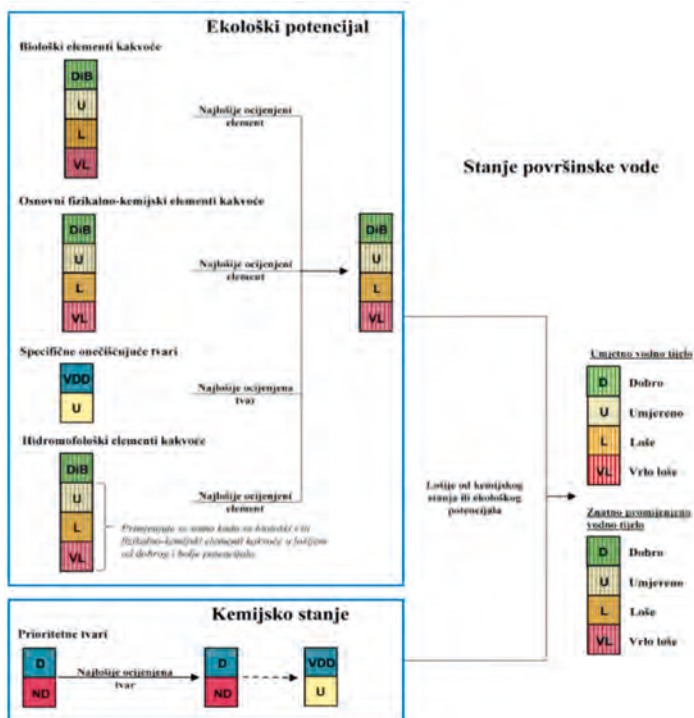
Za razliku od prirodnih vodnih tijela gdje se propisuje dobro ekološko stanje (klasifikacija prikazana na slici 1), Okvirna direktiva o vodama (2000/60/EZ) propisuje određivanje dobrog ekološkog potencijala (klasifikacija prikazana na slici 2) za umjetna i znatno promijenjena vodna tijela kod kojih su hidromorfološke karakteristike, zbog specifičnosti korištenja, znatno promijenjene u odnosu na prirodna vodna tijela.

Uredbom o standardu kakvoće voda (Narodne novine, br. 96/19, 20/23 i 50/23 - ispravak) se, između ostalog, propisuje standard kakvoće voda, elementi za ocjenjivanje te postupak za ocjenu stanja prikazanom na Slikama 1 i 2.

Na umjetna i znatno promijenjena tijela površinskih voda primjenjuju se elementi za ocjenjivanje stanja onih prirodnih tijela površinskih voda koja su im najbližija.



Slika 1. Klasifikacija stanja prirodnih tijela površinske kopnene vode



Slika 2. Klasifikacija stanja umjetnih i znatno promijenjenih tijela površinske kopnene vode

2.1. Ekološko stanje / potencijal površinskih voda

Ekološko stanje / potencijal površinskih voda ocjenjuje se u odnosu na biološke, osnovne fizikalno - kemijske i kemijske elemente te hidromorfološke elemente koji prate biološke elemente.

2.1.1. Biološki elementi kakvoće

Biološki elementi kakvoće su sastavnice vodenog ekosustava koje se mogu mjeriti određenim pokazateljima. Okvirna direktiva o vodama razlikuje pet bioloških elemenata u rijekama i jezerima: fitoplankton, fitobentos, makrofiti, makrozoobentos i ribe. U Tablici 1. se nalazi pregled pokazatelja / indeksa ekološkog stanja odnosno ekološkog potencijala za biološke elemente kakvoće u prirodnim te znatno promijenjenim i umjetnim rijekama i jezerima:

Tablica 1. Biološki elementi kakvoće

Biološki element kakvoće	Pokazatelj/ indeks za rijeka	Pokazatelj/ indeks za jezera	Opterećenje na koje ukazuje pojedini biološki indeks
Fitoplankton	HRPI	HLPI	opterećenje hranjivim tvarima
Fitobentos	TIDHR	MIL/MIB/ IPSITI	opterećenje hranjivim tvarima
Makrozoobentos	SIHR		opterećenje organskim tvarima
	MMIR		hidromorfološke promjene / opća degradacija
		MMIL	opća degradacija
Makrofitna	RI-MHR	BMHR/RI- MHR	opterećenje hranjivim tvarima / opća degradacija
Ribe	CFIR		opterećenje hranjivim tvarima / hidromorfološke promjene /
		CFIL	opterećenje hranjivim i organskim tvarima / opća degradacija

2.1.2. Osnovni fizikalno - kemijski i kemijski elementi kakvoće

Osnovni fizikalno - kemijski i kemijski elementi kakvoće (Tablica 2.) su podržavajući elementi, čije koncentracije ne bi smjele prelaziti uspostavljene granice kako bi se osiguralo funkcioniranje ekosustava i postizanje vrijednosti bioloških elemenata kakvoće.

Tablica 2. Osnovni fizikalno - kemijski elementi kakvoće

Fizikalno - kemijski element kakvoće	Pokazatelj stanja
toplinski uvjeti	temperatura (°C)
salinitet	salinitet
zakiseljenost	pH
režim kisika	biološka potrošnja kisika u pet dana (BPK ₅) (mg/l O ₂)
	kemijska potrošnja kisika (KPK Mn) (mg/l O ₂)
hranjive tvari	amonij (mg/l N)
	nitriti (mg/l N)
	ukupni dušik (mg/l N)
	ortofosfati (mg/l P)
	ukupni fosfor (mg/l P)

Fizikalno - kemijski element kakvoće	Pokazatelj stanja
specifične onečišćujuće tvari	arsen i njegovi spojevi ($\mu\text{g/l}$)
	bakar i njegovi spojevi ($\mu\text{g/l}$)
	cink i njegovi spojevi ($\mu\text{g/l}$)
	krom i njegovi spojevi ($\mu\text{g/l}$)
	fluoridi (mg/l)
	organski vezani halogeni koji se mogu adsorbirati (AOX) ($\mu\text{g/l}$)
	poliklorirani bifenili (PCB) ($\mu\text{g/l}$)

2.1.3. Hidromorfološki elementi kakvoće

Hidromorfološki elementi opisuju hidrološke i geomorfološke značajke rijeka i jezera u razmatranom vremenskom razdoblju. Hidrološki sustavi su dinamički te se tijekom vremena mijenjaju zahvaljujući nizu utjecaja koji mogu biti prirodnog i antropogenog karaktera (promjena korištenja zemljišta, izgradnja hidrotehničkih objekata, klimatske promjene i slično), a nastale promjene mogu značajno utjecati na razvoj biotičkih zajednica vodenog ekosustava. Hidromorfološki elementi koji prate biološke elemente su hidrološki režim, kontinuitet rijeke, morfološki uvjeti. Hidromorfološki pokazatelji / indeksi koriste se relevantni za svaki pojedini tip znatno promijenjenih i umjetnih rijeka.

2.2. Kemijsko stanje voda

Kemijsko stanje površinskih voda ocjenjuje se u odnosu na pokazatelje kemijskog stanja iz Priloga 5. Uredbe. Ocjena kemijskog stanja tijela površinske vode određuje se najlošijom od vrijednosti rezultata, uzimajući u obzir rezultate ocjene pokazatelja kemijskog stanja. Tijelo površinske vode razvrstava se na temelju rezultata ocjene elemenata kakvoće u kategorije kemijskog stanja a prikazuje se na kartama odgovarajućom bojom i to:

1. dobro kemijsko stanje, plavom,
2. nije postignuto dobro kemijsko stanje, crvenom.

3. MATERIJAL I METODE

Za potrebe opisa ekološkog stanja / potencijala i kemijskog stanja korišteni su podaci o stanju vodnih tijela iz Registra vodnih tijela Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. U svrhu analize programa monitoringa na vodnim tijelima ribnjaka te ulaznim i izlaznim vodnim tijelima korišteni su kartografski prikazi vodnih tijela i mreže monitoring postaja.

4. MREŽA MJERNIH POSTAJA I PROGRAM MONITORINGA

Nadzor nad stanjem voda i sustavno praćenje stanja provodi se monitoringom za čije obavljanje je uspostavljena mreža mjernih postaja koja omogućava cjelovit pregled ekološkog i kemijskog stanja vodnog područja. Osnovu za određivanje stanja vodnih tijela čine prikazi i informacije o stanju voda u točki monitoringa stoga je na osnovu rezultata monitoringa površinskih voda napravljena ocjena stanja / potencijala vodnih tijela. Budući da rezultati monitoringa reflektiraju stanje voda u točki odnosno na lokaciji mjesta uzimanja uzoraka, ocijenjeno stanje vodnih tijela predstavlja vremenski i prostorno osrednjeno stanje i to stanje se može razlikovati od stanja voda ocijenjenog u točki na osnovu rezultata monitoringa (prema Uredbi o standardu kakvoće voda, Prilog 11).

U Republici Hrvatskoj ne obavlja se monitoring voda koje se ispuštaju iz ribnjaka te se ugovorima o zakupu ne određuju maksimalne dopuštene koncentracije tvari u otpadnim vodama. Procjena onečišćenja ograničena je na osnovne hranjive tvari koje se ispuštaju u okoliš kao ekskrementi i ostaci hrane, a provedena je na temelju pretpostavljenih faktora emisije pojedine onečišćujuće tvari, površine ribnjaka te podatka o prosječnoj godišnjoj proizvodnji ribe na razini Republike Hrvatske (PUPV do 2027.).

5. PREGLED EKOLOŠKOG STANJA / POTENCIJALA VODNIH TIJELA RIBNJAKA, ULAZNIH I IZLAZNIH VODNIH TIJELA

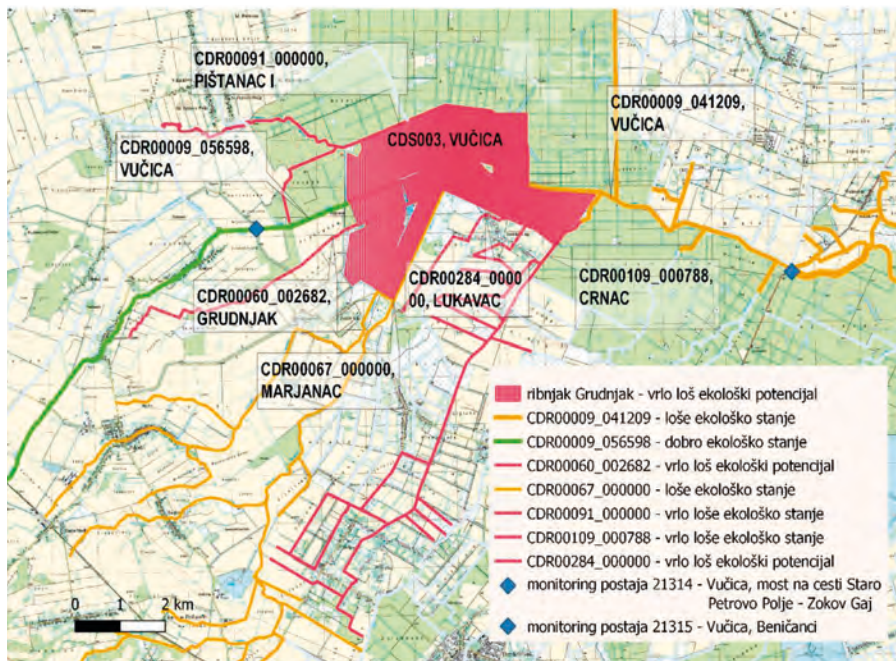
5.1. Ribnjak Grudnjak

Vodno tijelo ribnjaka Grudnjak je umjetna stajaćica vrlo lošeg ekološkog potencijala i to u odnosu na ukupni fosfor, te morfološke uvjete. U odnosu na biološke elemente kakvoće ribnjak Grudnjak je lošeg ekološkog potencijala, s obzirom na fitoplankton, fitobentos, makrozoobentos i ribe. U odnosu na specifične onečišćujuće tvari ima dobar i bolji ekološki potencijal.

Vodno tijelo CDR00009_056598, VUČICA koje napaja ribnjak Grudnjak je dobrog ekološkog stanja, dok je vodno tijelo CDR00060_002682, GRUDNJAK, koje također napaja ribnjak Grudnjak, vrlo lošeg ekološkog potencijala u odnosu na biološke (fitobentos, makrofitu, makrozoobentos), osnovne fizikalno kemijske (ukupni fosfor) i hidromorfološke (morfološki uvjeti) elemente kakvoće.

Što se tiče stanja vodnih tijela iza odvodnih kanala ribnjaka Grudnjak, vodno tijelo CDR00009_041209, VUČICA je u lošem ekološkom stanju u odnosu na biološke elemente kakvoće makrofitu i ribe, umjerenog ekološkog stanja u odnosu na ukupni fosfor, a dobro stanje utvrđeno je za hidromorfološki elemente kakvoće i specifične onečišćujuće tvari. Vodno tijelo CDR00284_000000, LUKAVAC je vrlo lošeg potencijala prema biološkim elementima makrofitu i makrozoobentos, a loš prema ukupnom fosforu i morfološkim uvjetima. U vrlo lošem stanju. Vodno tijelo CDR00109_000788, CRNAC je u vrlo lošem stanju prema biološkim elementima fitobentos, makrofitu i ribe, dok je lošeg stanja u odnosu na ukupni fosfor i morfološke uvjete.

Slika 3. prikazuje ekološko stanje / potencijal ribnjaka Grudnjak te vodnih tijela koja snabdijevaju i vodna tijela iza odvodnih kanala ribnjaka.



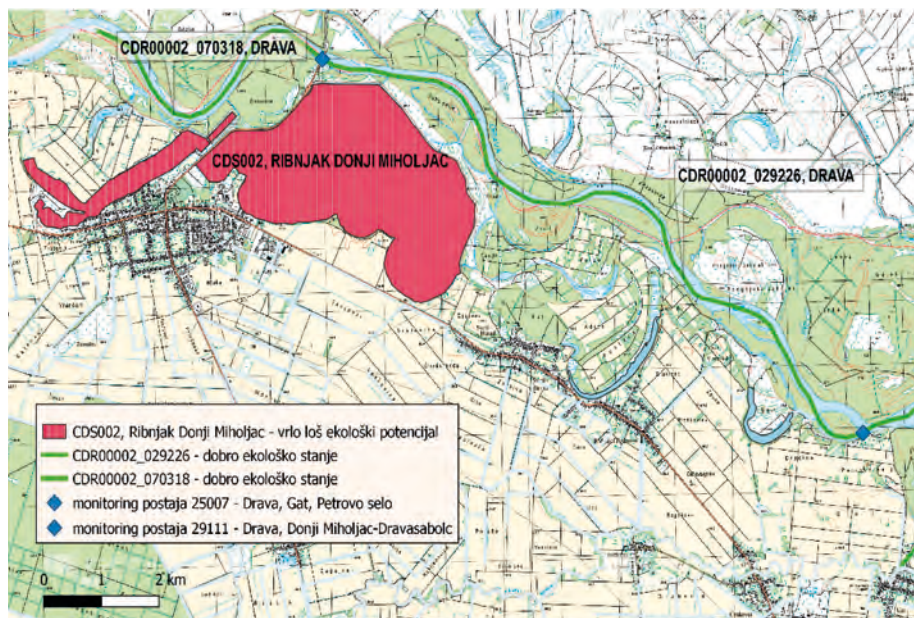
Slika 3. Ribnjak Grudnjak

5.2 Ribnjak Donji Miholjac

Rijeka Drava, vodno tijelo CDR00002_070318, DRAVA napaja vodom ribnjak Donji Miholjac te se voda sustavom kanala vraća u isto vodno tijelo Drave i vodno tijelo CDR00002_029226, DRAVA. Oba vodna tijela su dobrog ekološkog stanja.

Ribnjak Donji Miholjac je umjetna stajaćica vrlo lošeg ekološkog potencijala u odnosu na biološke elemente kakvoće (osim makrofita), u odnosu na ukupni fosfor, te morfološke uvjete kakvoće.

Ekološki potencijal ribnjaka Donji Miholjac i ekološko stanje vodnih tijela Drave prikazano je na Slici 4.



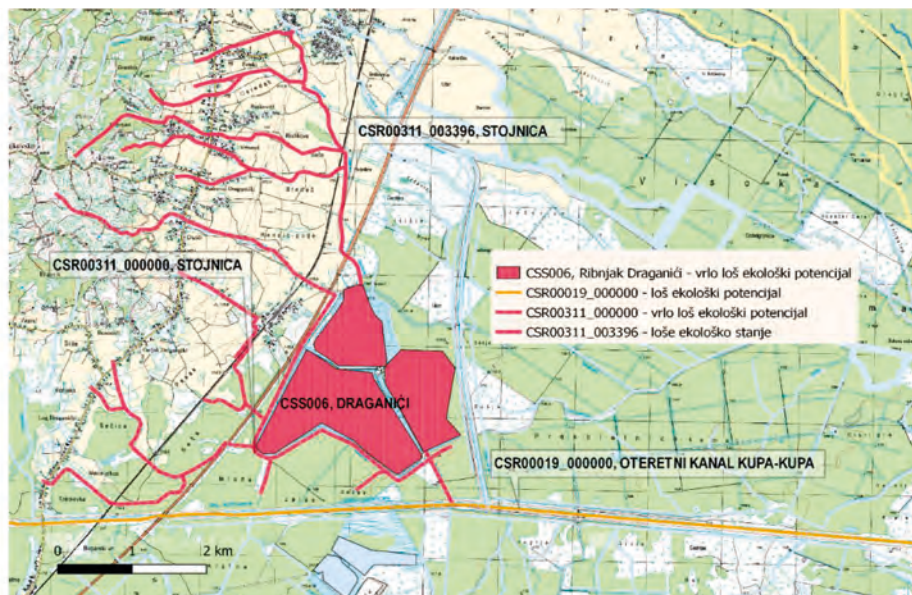
Slika 4. Ribnjak Donji Miholjac

5.3. Ribnjak Draganići

Prirodna tekućica, vodno tijelo CSR00311_003396, STOJNICA, koja puni vodom ribnjak Draganići je vrlo lošeg ekološkog stanja i to u odnosu na ukupni fosfor, lošeg stanja za biološki element kakvoće fitobentos, makrofita i ribe, stanje umjereno za specifične onečišćujuće tvari (pokazatelji bakar i cink), dok su hidromorfološki elementi kakvoće u vrlo dobrom stanju.

Ribnjak Draganići, vodno tijelo CSS006, je umjetna stajačica vrlo lošeg ekološkog potencijala u odnosu na biološke (fitoplankton, fitobentos i ribe), ukupni fosfor i morfološke uvjete kakvoće, dok je umjeren potencijal određen za specifične onečišćujuće tvari.

Odvodnim kanalima voda iz ribnjaka odlazi u vodno tijelo CSR00311_000000, STOJNICA koje je vrlo lošeg ekološkog potencijala zbog ukupnog fosfora. Za biološke elemente kakvoće fitobentos, makrofita i ribe utvrđen je loš potencijal. U odnosu na specifične onečišćujuće tvari utvrđen je umjeren potencijal, dok je za hidromorfološke elemente kakvoće utvrđen dobar i bolji ekološki potencijal. U konačnici, vode iz ribnjaka završavaju u vodnom tijelu CSR00019_000000, OTERETNI KANAL KUPA - KUPA koji je lošeg ekološkog potencijala uslijed lošeg potencijala morfoloških uvjeta i lošeg potencijala za biološki element kakvoće ribe. Dobar i bolji potencijal utvrđen je za fizikalno kemijske elemente kakvoće i specifične onečišćujuće tvari. Slika 5. prikazuje ekološki potencijal ribnjaka Draganići i ekološko stanje/potencijal vodnih tijela koja snabdijevaju i prihvataju vodu iz ribnjaka.



Slika 5. Ribnjak Draganići

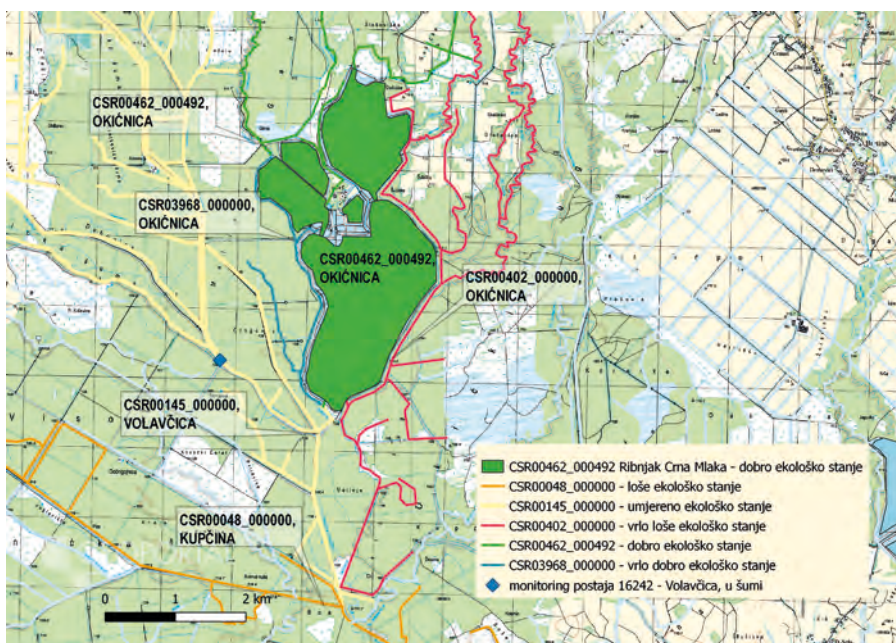
5.4 Ribnjak Crna Mlaka

Ribnjakom se smatra i dio prirodnog vodotoka koji prolazi kroz područje ribnjačkih površina (Treer i drugi, 1995.) što je slučaj vodnog tijela CSR00462_000492, OKIČNICA za koje je utvrđeno dobro ekološko stanje. U odnosu na hidromorfološki pokazatelj kontinuitet toka ribnjak je u lošem stanju, ali ne umanjuje ocjenu ekološkog stanja zbog dobrog i vrlo dobrog stanja ostalih elemenata kakvoće.

Stanje vodnog tijela CSR03968_000000, OKIČNICA (ulazni vodotok ribnjaka) je vrlo dobro.

Dio vode iz ribnjaka prihvaća vodno tijelo CSR00145_000000, VOLAVČICA koje je umjerenog ekološkog stanja u odnosu na biološki elemente kakvoće makrofita i morfološke uvjete. Dio izlazne vode iz ribnjaka odlazi u vodno tijelo CSR00402_000000, OKIČNICA vrlo lošeg ekološkog stanja uvjetovanog fizikalno kemijskim pokazateljem BPK_5 . U odnosu na fitobentos, makrofita i ribe vodno tijelo je u umjerenom stanju, dok je u odnosu na specifične onečišćujuće tvari i hidromorfološke elemente kakvoće u dobrom i vrlo dobrom stanju. Prihvatni vodotoci ulaze u vodno tijelo CSR00048_000000, KUPČINA koje je lošeg ekološkog stanja uvjetovanog lošim stanjem pokazatelja BPK_5 . Element kakvoće makrofita je umjerenog stanja dok ostali elementi kakvoće pokazuju dobro i vrlo dobro stanje.

Ekološko stanje vodnih tijela vezanih uz ribnjak Crna Mlaka prikazano je na slici 6.



Slika 6. Ribnjak Crna Mlaka

6. KEMIJSKO STANJE VODNIH TIJELA RIBNJAKA, ULAZNIH I IZLAZNIH VODNIH TIJELA

Ribnjaci Grudnjak i Draganići, vodna tijela koja ih snabdijevaju vodom i koja prihvaćaju vodu iz ribnjaka su dobrog kemijskog stanja, kao i vodno tijelo CSR03968_000000 Okičnica koje snabdijeva ribnjak Crna Mlaka. U rijeci Dravi, koja puni i prihvaća vodu iz ribnjaka Donji Miholjac, nije postignuto dobro kemijsko stanje. Dobro kemijsko stanje nije postignuto na vodnim tijelima CSR00462_000492 OKIČNICA (ribnjak Crna Mlaka), CSR00145_000000 Volavčica i CSR00402_000000 Okičnica koji prihvaćaju vodu iz ribnjaka.

ZAKLJUČAK

Stanje ulaznih i izlaznih vodnih tijela promatranih ribnjaka utvrđeno je na osnovu rezultata monitoringa provedenog na mjernim postajama iz programa monitoringa opisanog u poglavlju 4. Za većinu vodnih tijela stanje je procijenjeno na temelju analize opterećenja - utjecaja što se provodi za vodna tijela na kojima nema mjerne postaje, a navodi na zaključak o nedostatnosti postojećih mjernih postaja za utvrđivanje stvarnog stanja u okolici nizinskih ribnjaka.

Da bi se propisao program mjera za očuvanje kakvoće vode i smanjenje antropogenog utjecaja na vodna tijela potrebno je utvrditi opterećenja koja dovode u pitanje ostvarivanje dobrog stanja.

Plan upravljanja vodnim područjima do 2027. propisuje uspostaviti istraživački monitoring koji ima za cilj utvrđivanje utjecaja akvakulture na stanje vodnih tijela. Predlaže se njegovo provođenje uspostavljanjem mreže mjernih postaja tako da su postavljene na dionicama vodnih tijela koje snabdijevaju ribnjake te na dionicama vodnih tijela gdje se voda iz sustava uzgoja ispušta praćenjem svih relevantnih pokazatelja kakvoće. Time bi se, između ostalog, moglo utvrditi kako ekološko stanje vode na ulazu utječe na vodu u ribnjaku i kako ribnjačarska proizvodnja utječe na ekološko stanje voda nakon ribnjaka. Također bi se testirao model procjene stanja ribnjaka koji se temelji na pretpostavljenim faktorima emisija pojedinih onečišćujućih tvari (N i P), površine ribnjaka i prosječnoj godišnjoj proizvodnji ribe.

LITERATURA

- [1] Bojčić, C., Debeljak, Lj., Vuković, T., Jovanović - Kršljanin, B., Apostolski, K., Ržaničanin, B., Turk, M., Volk, S., Drecun, Đ., Habeković, D., Hristić, Đ., Fijan, N., Pažur, K., Bunjevac, I., Marošević, Đ. (1982): *Slatkovodno ribarstvo*, Riboza-jednica Zagreb, JUMENA Zagreb, 607 str.
- [2] *Nacionalni plan razvoja akvakulture za razdoblje do 2027. godine* (Narodne novine br. 133/2022)
- [3] *Direktiva 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2000. o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike* (SL L 327, 22. 12. 2000.)
- [4] *Plan upravljanja vodnim područjima do 2027.* (Narodne novine, 84/2023.)
- [5] Treer, T., Safner, R., Aničić, I., Lovrinov, M. (1995): *Ribarstvo*, Nakladni zavod Globus, Zagreb, 464 str.
- [6] *Uredba o standardu kakvoće voda* (Narodne novine br. 96/19, 20/23 i 50/23 – ispravak)
- [7] *Zakon o vodama* (Narodne novine br. 66/19, 84/21 i 47/23)

AUTOR

Mirjana Štimac Varat, dipl. ing. agr. ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, mvarat@voda.hr



R 4.09.

STANJE I RIZICI PODZEMNIH VODA U HRVATSKOJ

Daria Čupić, Hrvoje Herceg

SAŽETAK: Stanje i rizici u podzemnim vodama određeno je na razini vodnih tijela koji predstavljaju osnovne jedinice za analizu značajki i upravljanja kakvoćom i količinom voda. Podzemna vodna tijela određena su na način da imaju jednoznačan opis kemijskog i količinskog stanja podzemnih voda, te rizika. Stanje podzemnih voda ocjenjuje se sukladno Uredbi o standardu kakvoće voda i rezultatima monitoringa. Konačni cilj je prema Okvirnoj direktivi o vodama i Direktivi o podzemnim vodama zaštita podzemnih voda i s njima povezanih ekosustava. U odnosu na dosadašnje planove upravljanja vodnim područjima, procjena stanja i rizika podzemnih voda je u novom Planu upravljanja vodnim područjima do 2027. proširena na geotermalne i mineralne vode. U ovom radu se obrađuju stanje i rizici hladnih podzemnih voda prema Planu upravljanja vodnim područjima do 2027. godine, budući da su geotermalne i mineralne vode obrađene u radu „Zaštita geotermalnih i mineralnih voda uspostavljanjem monitoringa“ istoimenih autora. Opseg podataka korišten za ocjenu kemijskog stanja podzemnih vodnih tijela je veći u odnosu na prethodni plan, za razliku od ocjene količinskog stanja gdje su podaci još uvijek nedostadni u nekim područjima.

KLJUČNE RIJEČI: Kemijsko stanje, Količinsko stanje, Rizici, Podzemna vodna tijela, Plan upravljanja vodnim područjima

GROUNDWATER STATUS AND RISKS IN CROATIA

ABSTRACT: The groundwater status and risks are defined on the level of water bodies, which represent the basic units for analysing the characteristics and management of water quality and quantity. The groundwater bodies were identified in such a manner to uniformly describe the chemical and quantitative status and risks to groundwater. The groundwater status is assessed according to the Regulation on water quality standards and the monitoring results. According to the Water Framework Directive and the Groundwater Directive, the final objective is the protection of groundwater and related terrestrial and aquatic ecosystems. Unlike the past River Basin Management Plans (RBMPs), the current RBMP extends the assessment of groundwater status and risks to include geothermal and mineral water. The paper addresses the status and risks to cold groundwater according to the RBMP 2022 - 2027, since geothermal and mineral water are addressed in the paper “Protecting Geothermal and Mineral Water through the Establishment of Monitoring” by the same authors. The scope of groundwater quality data used for assessing

the chemical status of groundwater bodies is larger than the one in the preceding RBMP, in contrast to the quantitative status assessment of groundwater where there are still areas lacking sufficient data.

KEYWORDS: Chemical status, Quantitative status, Risks, Groundwater bodies, River basin management plan

1. UVOD

Stanje i rizici u podzemnim vodama, bilo da je riječ o hladnim podzemnim vodama ili geotermalnim i mineralnim vodama određeno je na razini vodnih tijela koja predstavljaju osnovne jedinice za analizu značajki i upravljanja kakvoćom i količinom voda. Podzemna vodna tijela određena su na način da imaju jednoznačan opis kemijskog i količinskog stanja podzemnih voda, te rizika, kao i planiranje i provođenje mjera koje treba poduzeti za ostvarenje postavljenih ciljeva u zaštiti podzemnih voda i o njima ovisnih ekosustava. Elementi na temelju kojih je provedeno definiranje podzemnih vodnih tijela i njihova karakterizacija su: geološka građa, poroznost, geokemijski sastav, hidrogeološke karakteristike, karakteristike krovinskih naslaga, smjer toka, izdašnost izvora i zdenaca, napajanje, odnos s površinskim tokovima, položaj unutar riječnih slivova, te zahtjev Okvirne direktive o vodama 2000/60/EZ (u daljnjem tekstu ODV) da se izdvoje sva tijela podzemnih voda koja se koriste za ljudsku potrošnju i čija je izdašnost više od 10 m³/dan. Konačni cilj prema ODV i Direktivi o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja kakvoće 2006/118/EZ (u daljnjem tekstu DZPV) je zaštita podzemnih voda te postizanje dobrog stanja. Prije prvog Plana upravljanja vodnim područjima napravljena je inicijalna karakterizacija i određivanje podzemnih vodnih tijela za hladne podzemne vode i 2006. godine izdvojeno je 449 osnovnih vodnih tijela, koje su se dalje grupirala za potrebe lakšeg upravljanja i provođenja monitoringa u 32 tijela podzemnih voda u prvom Planu upravljanja vodnim područjima i kasnije za drugi i treći Plan upravljanja vodnim područjima u 33 tijela (slika 1). U sadašnjem Planu upravljanja vodnim područjima do 2027 godine izmjena je u odnosu na prethodni plan samo u granicama dvaju podzemnih vodnih tijela. Ocjene kemijskog i količinskog stanja unutar tijela podzemnih voda napravljene su na temelju standarda / graničnih vrijednosti i propisane metodologije prema Uredbi o izmjenama i dopunama Uredbe o standardu kakvoće voda (Narodne novine, br. 20/23) (u daljnjem tekstu Uredba). Jedan od značajnijih pomaka u Planu upravljanja vodnim područjima do 2027 u odnosu na prethodni plan je povećanje obujma nadzornog monitoringa na 384 postaja i uvođenje operativnog monitoringa od 2015. godine, koji se provodi na 117 monitoring postaja. Opseg podataka o kakvoći podzemnih voda koji je korišten za ocjenu kemijskog stanja je veći u odnosu na prethodni plan, pa je stoga pouzdanost viša u ocjeni, za razliku od ocjene količinskog stanja tijela podzemnih voda gdje još uvijek postoje prostori s vrlo slabo pokrivenom mrežom opažanja, te je ocjena pouzdanosti najčešće niska. Na osnovu rezultata studije Geotehničkog fakulteta „Definiranje kriterija za utvrđivanje stanja tijela podzemne vode kod pojave zaslanjenja“ u Planu upravljanja vodnim područjima do 2027 iz podzemnog vodnog tijela „Bokanjac - Poličnik“ utvrđenog u prethodnom planu izdvojen je sjeverni dio područja tog tijela i nazvan „Boljkovac - Golubinka“, a preostali južni dio područja pridružen je podzemnom vodnom tijelu Ravni kotari iz prethodnog plana te je dobiveno novo podzemno vodno

tijelo istog naziva Ravni kotari ali veće površine. Studija Rudarsko - geološko - naftnog fakulteta pod nazivom „Definiranje kriterija za određivanje pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tijelima podzemne vode u panonskom dijelu Hrvatske“ unaprijedila je metodologiju za ocjenu kemijskog stanja na panonskom dijelu te doprinijela boljem određivanju pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u podzemnim vodnim tijelima. Stoga su napravljene izmjene u graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u Uredbi. Radi boljeg sagledavanja stanja i planiranja programa mjera na podzemnim vodnim tijelima za postizanje okolišnih ciljeva u novi plan ukomponirani su rezultati studije Hrvatskog geološkog instituta „Monitoring starosti podzemne vode za potrebe definiranja učinkovitosti mjera zaštite“.



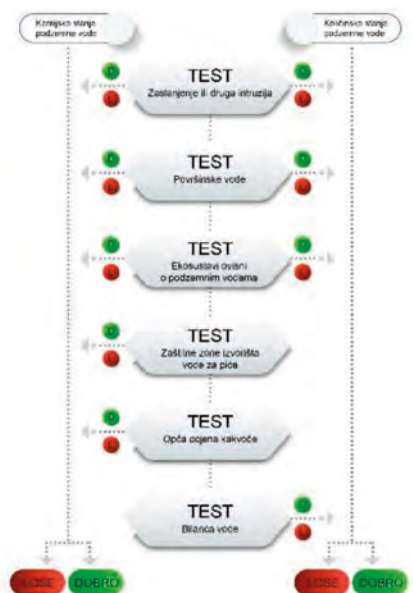
Slika 1. Tijela podzemnih voda (TPV) na prostoru Republike Hrvatske

2. STANJE PODZEMNIH VODA

Stanje tijela (hladnih) podzemnih voda - ocijenjeno je sa stajališta količina i kakvoće podzemnih voda prema metodologiji korištenoj za Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. i parametarima propisanim Uredbom te može biti dobro ili loše. Dobro stanje temelji se na zadovoljavanju uvjeta ciljeva ODV i DZPV. Ocjena kemijskog i količinskog stanja provodi se primjenom klasifikacijskih testova. Metodologija za ocjenu kemijskog stanja razlikuje se za panonski od krškog područja Republike Hrvatske zbog različitih hidrogeoloških karakteristika aluvijalnih vodonosnika dominantnih u panonskom te krških u krškom dijelu područja. Najlošiji rezultat svih navedenih testova čini ukupnu ocjenu stanja tijela podzemnih voda.

Za kemijsko stanje podzemnih voda korišteni su klasifikacijski testovi (slika 2):

- opća ocjena kakvoće,
- zaštitne zone izvorišta vode za piće,
- ekosustavi ovisni o podzemnim vodama,
- površinske vode,
- zaslanjenje ili druga intruzija.



Slika 2. Ocjena kemijskog i količinskog stanja prema klasifikacijskim testovima

2.1. Kemijsko stanje podzemnih voda

2.1.1. Metodologija

Ocjena kemijskog stanja provodi se u dva ključna koraka. U prvom koraku provodi se analiza kako bi se utvrdilo da li je potrebno provoditi klasifikacijske testove. Ispituje se da li barem jedan propisani parametar iz Uredbe o standardu kakvoće voda na bilo kojoj točki monitoringa prelazi srednju godišnju vrijednost standarda ili graničnu vrijednosti. Ukoliko na niti jednoj od točaka unutar tijela podzemnih voda nema prekoračenja srednje godišnje vrijednosti parametara standarda / granične vrijednosti, tijelo podzemnih voda nalazi se u dobrom stanju. Ukoliko ovaj uvjet nije zadovoljen, provode se dalje klasifikacijski testovi. Za ocjenu kemijskog stanja korišteni su podaci kemijskih analiza provedenih u okviru Nacionalnog nadzornog (384 postaje) i operativnog monitoringa podzemnih voda (117 postaja) i Dodatnog programa (monitoringa sirove vode na crpilištima - vode namijenjene za ljudsku potrošnju - 312 postaja) u periodu od 2014. do 2019. godine. Za ocjenu kemijskog stanja korišteni su parametri (nitrati, pesticidi - njihove aktivne tvari i metaboliti) i njihovi standardi kakvoće te onečišćujuće tvari i njihove granične vrijed-

nosti: arsen, kadmij, olovo, živa, amonij, kloridi, sulfati, nitriti, ukupni fosfor, ortofosfati, suma trikloretana i tetrakloretana te električna vodljivost propisane Uredbom (Prilog 6). Za sve one parametre koji se javljaju u prirodnom stanju i pod utjecajem ljudskih aktivnosti, korišten je pristup određivanja graničnih vrijednosti na razini pojedinačnih tijela podzemne vode, uzimajući u obzir pozadinske vrijednosti parametara. Za parametre koji se javljaju isključivo pod utjecajem čovjeka, granična vrijednost je određena na nacionalnoj razini. Za ocjenu kemijskog stanja korišteni su klasifikacijski testovi koji imaju zbog principa predostrožnosti strože granične vrijednosti od propisanih graničnih vrijednosti u Uredbi i razlikuju se za svaki test. Tijelo podzemne vode je u lošem kemijskom stanju ukoliko su rezultati bilo kojega klasifikacijskoga testa pokazali loše stanje. Konačni rezultat ocjene kemijskoga stanja izražava se s određenom razinom pouzdanosti (visokom ili niskom), ovisno kvaliteti i dostupnosti podataka.

Ocijenjivanje kemijskoga stanja provedbom testa „Ocjena opće kakvoće“ provedeno je na parametrima koji u prvom koraku prelaze standard / graničnu vrijednost na mjernoj postaji - „kritični parametri“. Ukoliko srednja vrijednost „kritičnog parametra“ dobivena agregiranjem podataka s mjernih postaja na razini podzemnog vodnog tijela za minimalno 30 % površine tijela podzemne vode prelazi graničnu vrijednost testa, tijelo podzemne vode je u lošem stanju.

Ocijenjivanje kemijskoga stanja provedbom testa „Zaslanjenje ili drugih intruzija“ i „Zaštitne zone izvorišta vode za piće (DWPA)“ provedeno je uspoređivanjem srednjih vrijednosti sa graničnim vrijednostima koncentracija testa „kritičnih“ parametara i u kombinaciji s analizom trendova.

Procjena trendova napravljena je za svako tijelo koje je u testu „Opće ocjene kakvoće“, testu „Zaslanjenja ili drugih intruzija“ te testu „Zaštitne zone izvorišta vode za piće (DWPA)“ ocijenjeno u lošem stanju, te na svim monitoring postajama koje su pokazivale loše stanje. Napravljen je linearni trend za srednje godišnje vrijednosti za razdoblje od 2014. do 2019. godine. Ako su uočeni trendovi značajni, provedeno je daljnje ispitivanje značajnosti trenda prema metodologiji iz Plana upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. Procjena trendova provedena je na agregiranim podacima na razini tijela podzemne vode, osim na razini osnovnih vodnih tijela za grupirano vodno tijelo Zagreb. Za procjenu trenda za aluvijalne vodonosnike korištena je metoda linearne regresije, a trend je smatran statistički značajnim ukoliko je nagib procijenjenoga pravca statistički značajno različit od nule. Za izgladivanje podataka za panonski dio korištena je LOESS neparametarska regresija. Nakon izgladivanja podataka trend se određuje linearnom regresijom (LINEST funkcijom), a za nivo značajnosti je 5 %. Za krško područje na dobivenim srednjim vrijednostima polugodišnjih razdoblja na razini tijela podzemnih voda, ali i pojedinačnih točaka monitoringa provodi se statistička analiza pomoću metode linearne regresije, a neparametarski Mann - Kendall test za ispitivanje monotonosti i odredbi statistički značajnih rastućih ili padajućih trendova. Minimalni uvjet je deset vrijednosti u vremenskoj seriji, što se postiglo korištenjem razdoblja od pet godina.

Test „Površinske vode“ daje ocjenu kemijskog stanja podzemnih voda u odnosu na povezanost s površinskim vodama, a provodi se za sva tijela podzemnih voda koja su povezana s tijelima površinskih voda kako bi se spriječilo značajno pogoršanje kemijskog stanja površinskih voda. Stanje se procjenjuje na temelju procjene stanja površinskih voda i procjene prijenosa onečišćujućih tvari iz podzemnih u površinske vode. Ocjena

testa s obzirom na povezanost podzemnih voda s površinskim vodama, a time i ekosustavima razmatrana je u području vrlo visoke i visoke ranjivosti vodonosnika, gdje je vjerojatnost kontakta najveća. Za razliku od prethodnog plana u Planu upravljanja vodnim područjima do 2027. ovim su testom testirana sva površinska vodna tijela. Za test su korištene granične vrijednosti propisanih okolišnih standarda kakvoće za prioritete tvari i ostale onečišćujuće tvari površinskih voda sukladno Prilogu 5.B. Uredbe (u daljnjem tekstu: standardi kakvoće vodenog okoliša za prioritete tvari i ostale onečišćujuće tvari - SKVO) te granične vrijednosti parametara za ekološko stanje površinskih voda sukladno Prilogu 2.C. Uredbe. U slučaju da je tijelo podzemnih voda ocijenjeno u lošem stanju, analizira se i mogućnost prijenosa onečišćujućih tvari iz podzemnih voda u površinske vode. Ako takva mogućnost postoji i ako je taj doprinos značajan više od 50 %, tijelo podzemnih voda je u lošem stanju.

Ocjena stanja tijela podzemnih voda s obzirom na test „Ekosustavi ovisni o podzemnim vodama“ napravljena je na tijelima podzemnih voda unutar kojih se nalaze ekosustavi ovisni o podzemnim vodama (EOPV) u kojima se razmatra samo podzemna voda u saturiranom dijelu vodonosnika.

Za test kopnenih i vodenih ekosustava ovisnih o podzemnim vodama izdvojena su iz Nature 2000 (prema Dodatku I. Direktive o staništima) staništa ovisna o podzemnim vodama s pripadajućim NATURA kodovima. Na temelju Pravilnika o popisu stanišnih tipova i karti staništa (Narodne novine, br. 27/21 i 101/22), Prilog III., za svaki ciljani stanišni tip navedeni su pripadajući stanišni tipovi sukladno nacionalnoj klasifikaciji (NKS). Napravljena je revizija staništa u odnosu na prethodni plan uz odobrenje Zavoda za zaštitu okoliša i prirode. Kemijsko stanje podzemnih voda s obzirom na ekosustave testira se prema graničnim vrijednostima prioriteta tvari - SKVO prema kojima se ocjenjuje kemijsko stanje površinskih voda i parametara za ekološko stanje površinskih voda. Ako prekoračenje nekog od parametara SKVO uzrokuje značajno oštećenje ekosustava, tijelo podzemne vode s obzirom na ovaj test je u lošem stanju.

2.1.2. Rezultati

Test „Opće ocjene kakvoće“ nije proveden na 13 tijela podzemnih voda (u daljnjem tekstu TPV). 8 TPV nalaze se u dunavskom vodnom području od kojih 5 TPV sadrže više od 70 % neproduktivne vodonosnike i to: Bednja, Sutla - Krapina, Orjava, Una (panon) i Kupa (panon), a 3 TPV su ocijenjena u dobrom stanju kemijskom stanju: Novo Virje, Kupa (krš) i Una (krš) te se u daljnjem postupku ne testiraju. U jadranskom vodnom području 5 TPV ocijenjeno je u dobrom stanju te nije bilo potrebno provoditi daljnje testiranje i to su: Sjeverna Istra, Riječki zaljev, Rijeka - Bakar, Zrmanja i Krka. Klasifikacijski testovi su provedeni na preostalih 20 TPV.

Sva tijela podzemnih voda u vodnom području rijeke Dunav ocijenjena su da su u dobrom kemijskom stanju prema testu „Opće ocjene kakvoće“, osim TPV Varaždinsko područje. TPV Varaždinsko područje u testu Opće ocjene kakvoće ocijenjeno je loše zbog povišenih koncentracija nitrata. Visoke koncentracije nitrata nalaze se u prvom, plitkom vodonosniku zapadno od Varaždina, iako ni u drugom vodonosniku nitrati na crpilištu Varaždin nisu u zanemarivim koncentracijama. U oba vodonosnika prelaze standard nitrata za podzemne vode, kao i maksimalno dopuštenu koncentraciju za vodu za

piće te se podzemna voda na crpilištu Varaždin ne koristi. Koncentracije nitrata u prvom vodonosniku na varaždinskom području imaju trend smanjenja kao posljedica smanjenja poljoprivredne proizvodnje. U drugom vodonosniku na crpilištu Bartolovec, zbog dugog zadržavanja vode u podzemlju, odnosno znatno veće prosječne starosti podzemne vode očekuje se daljnje povećanje koncentracija nitrata koje ipak neće doseći granične vrijednosti standarda. U jadranskom vodnom području test „Opće ocjene kakvoće“ utvrdio je 2 TPV sa lošim stanjem i to: Južna Istra i Boljkovac - Golubinka. U tijelu Južna Istra zabilježeno je prekoračenje koncentracije nitrata na velikom broju točaka monitoringa, te je srednja vrijednost agregacije iznad 75 % standarda. Utvrđen je statistički značajan uzlazni trend za nitrata na više mjernih postaja. Na TPV Boljkovac - Golubinka je utvrđeno loše stanje zbog intruzija slane vode. Na crpilištu Boljkovac zaslanjenje je rezultat antropogenog utjecaja i zabilježen je statistički značajan uzlazan trend.

Test „Zaslanjenja ili drugih intruzija“ na vodnom području rijeke Dunav pokazao je na svim vodnim tijelima podzemnih voda dobro stanje. Na jadranskom vodnom području utvrđeno je da je samo na jednom TPV loše stanje i to na TPV Boljkovac - Golubinka obzirom na električnu vodljivost. Utvrđen je također i statistički značajan uzlazni trend na crpilištu Boljkovac.

Rezultati testa „Zaštitne zone izvorišta vode za piće (DWPA)“ pokazali su da su sva podzemna vodna tijela na vodnom području rijeke Dunav u dobrom stanju. Na TPV Varaždinsko područje ustanovljen je statistički značajno padajući trend nitrata. Na jadranskom vodnom području rezultati testa pokazali su 2 tijela podzemnih voda u lošem stanju i to Južna Istra s obzirom na nitrata gdje je zabilježen statistički značajan uzlazni trend na više mjernih postaja i Boljkovac - Golubinka obzirom na električnu vodljivost gdje je također zabilježen statistički značajan uzlazan trend.

Rezultati testa „Površinske vode“, kao i „Ekosustavi ovisni o podzemnim vodama“ pokazuju da su sva podzemna vodna tijela u oba vodna područja u dobrom stanju.

Krajnji rezultat svih klasifikacijskih testova je loše kemijsko stanje na 3 TPV: Varaždinsko područje, Južna Istra i Boljkovac - Golubinka (slika 3).

2.2. Količinsko stanje podzemnih voda

2.2.1. Metodologija

Ocjena količinskog stanja provedena je na svim podzemnim vodnim tijelima. Za ocjenjivanje količinskog stanja tijela podzemnih voda koristili su se klasifikacijski testovi: test „Bilance voda“, test „Zaslanjenja ili druga intruzija“, test „Površinske vode“ i test „Ekosustavi ovisni o podzemnim vodama“.

U postupku provedbe testa „Bilance voda“ ocijenjene su i uspoređene prosječne godišnje količine crpljenja s obnovljivim zalihama podzemne vode unutar tijela podzemne vode od 2017. do 2019. godine. Procjena obnovljivih zaliha podzemne vode preuzeta je iz Plana upravljanja vodnim područjima od 2016. do 2021. godine. Metodologija za panonsko i krško područje je različita, te je prag prelaska iz dobrog u loše stanje za panonski dio 75 %, a za krški 10 %. Kao nadopuna testu „Bilance voda“ koristila se i analiza trendova, razina podzemne vode za vodno područje rijeke Dunav i protoka krških izvora na jadranskom vodnom području za svako pojedino TPV u razdoblju od 2005. do 2020. godine. Za provedbu analize razina i protoka korišteni su podaci iz HIS sustava (baze

podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda) o mjesečnim minimalnim i srednjim vrijednostima razina podzemne vode, kao i podaci o mjesečnim srednjim i minimalnim vrijednostima protoka krških izvora za razdoblje od 2005. do 2020. godine. Napravljeni su trendovi razina za svako tijelo za srednje godišnje, kao i minimalne vrijednosti razina, kao i ispitivanje statistički značajnosti trenda. U panonskom području postupak ispitivanja značajnosti trenda provodio se na temelju regresijske analize, pomoću koje se dobio koeficijent regresijskog pravca. Linije trenda karakterizirale su se kao statistički značajno rastuće ili padajuće i one koje to nisu. Koristila se LOESS krivulja za izgladivanja parametara te na temelju regresijske analize i linearnih funkcija za predviđanje trendova, a nivo značajnosti 5 %. Za krško područje na dobivenim srednjim vrijednostima godišnjih razdoblja na razini tijela podzemnih voda, ali i pojedinačnih točaka monitoringa, proveda se statistička analiza pomoću metode linearne regresije, a neparametarski Mann - Kendall test za ispitivanje monotonosti i odredbi statistički značajnih rastućih ili padajućih testova.

Test "Prodor slane vode ili drugih (prirodnih) prodora vode loše kakvoće uzrokovanih crpljenjem" provodi se u više koraka na način da se na temelju izrađenog konceptualnog modela tijela podzemnih voda procjenjuje mogućnost zaslantjenja ovisno o otvorenosti geoloških struktura prema utjecaju mora ili drugih intruzija. Ukoliko mogućnost zaslantjenja postoji, analizira se vrijednost električne vodljivosti. Granična vrijednost za test zaslantjenja postavljena je na 50 % vrijednosti standarda za pitku vodu kako bi potencijalno zaslantjene vode bilo znatno ranije nego što postane problem za ljudsku potrošnju. Ukoliko nema povišenih prosječnih koncentracija ni zabilježenih statistički značajnih uzlaznih trendova, tijelo podzemnih voda ocjenjuje se „u dobrom stanju“.

Za test „Površinske vode“ koristi se indeks korištenja toka površinskih voda (Ikv). Za površinske vode za koje je utvrđeno da se nalaze u lošem i vrlo lošem stanju prema ocjeni s obzirom na količine korištenja vodenog toka (Ikv), kako bi se spriječilo dalje značajno pogoršanje količinskog stanja površinskih voda uzrokovano crpljenjem podzemne vode, ispitao se utjecaj podzemnih voda. Crpljenje se smatra značajnim ako se više od 40 % Ikv površinske vode može pripisati podzemnoj vodi.

Test „Ekosustavi ovisni o podzemnim vodama“ provodi se kako bi se spriječilo narušavanje dobrog stanja ekosustava. Stanje se procjenjuje na temelju okolišnih uvjeta koji se odnose na izdašnost (protok) i / ili razinu podzemne vode, kao i procjene utjecaja crpljenja podzemnih voda na okolišne uvjete. Unutar svakog ekosustava na pojedinom podzemnom vodnom tijelu promatrane su najmanje tri reprezentativne točke na kojima je izrađen linearan trend razina / protoka i njihov utjecaj na ekosustave. Ako je ekosustav prema biološkim kriterijima u dobrom stanju tada se i tijelo podzemne vode nalazi u dobrom stanju. Ako biološka ocjena nije napravljena, stanje se ocjenjuje analizom utjecaja crpilišta unutar ili u blizini ekosustava na smanjenje izdašnosti (protoka) i / ili razine podzemne vode. Analizira se granično sniženje razine podzemne vode i / ili protoka, kao i trendovi razine i / ili protoka. Ako utjecaj crpljenja podzemnih voda utječe na neispunjavanje okolišnih uvjeta ekosustava i ako je zajednica u njemu značajno oštećena, tijelo podzemnih voda je u lošem stanju.

2.2.2. Rezultati

Test Bilance proveden na svim podzemnim vodnim tijelima pokazuje dobro stanje. Dodatna analiza trendova razina podzemnih voda na vodnom području rijeke Dunav pokazala je na 4 tijela podzemnih voda: Varaždinsko područje, Zagreb, Kupa (panon), te Istočna Slavonija - Sliv Drave i Dunava silazne trendove, a ispitivanje statistički značajnih trendova pokazala je značajnost trenda samo na 3 TPV i to: Varaždinsko područje, Zagreb i Istočna Slavonija - Sliv Drave i Dunava koji su dalje razmatrani u riziku nepostizanja dobrog količinskog stanja. Na jadranskom vodnom području nema silaznih trendova.

Test „Zaslanjenja ili druga intruzija“ proveden na podzemnim vodnim tijelima na vodnom području rijeke Dunav pokazao je na svim vodnim tijelima podzemnih voda dobro stanje. U jadranskom vodnom području utvrđeno je zaslanjenje jedino na TPV Boljkovac - Golubinka zbog prekoračenja granične vrijednosti električne vodljivosti i statistički značajnog trenda.

Test „Površinskih voda“ je proveden na svim podzemnim vodnim tijelima i pokazuje dobro stanje.

Test „Ekosustava povezanih sa podzemnim vodama“ pokazao je da dobro stanje na svim podzemnim vodnim tijelima.

Krajnji rezultat svih klasifikacijskih testova je loše količinsko stanje samo na jednom tijelu podzemnih voda i to TPV Boljkovac - Golubinka (slika 4).



Slika 3. Kemijsko stanje



Slika 4. Količinsko stanje

3. RIZICI NEPOSTIZANJA OKOLIŠNIH CILJEVA

3.1. Rizik od nepostizanja dobrog kemijskog stanja

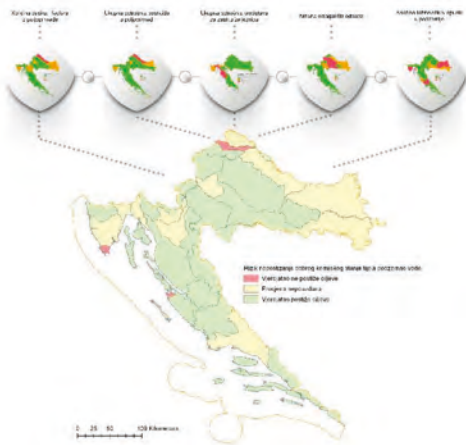
Procjena rizika od nepostizanja dobrog kemijskog stanja tijela podzemnih voda provedena je korištenjem podataka o značajnim opterećenjima na podzemne vode u: poljoprivredi (dušik, fosfor, pesticidi), transportu (željeznice - pesticidi), odlagalištima (broj aktivnih odlagališta) te uzimajući u obzir i tehnološke ispuste otpadnih voda u podzemlje, vodo-

nosnicima vrlo visoke i visoke ranjivosti, ocjeni kemijskog stanja i statistički značajnim trendovima dobivenim iz testova za ocjenu kemijskog stanja podzemnih voda. Sintezom ocijenjenog opterećenja (značajno - umjereno - nije značajno) podijeljenih po tijelima podzemnih voda, ranjivosti, kemijskom stanju i u kombinaciji sa kartom značajnih trendova kemijskog stanja kreirana je karta rizika od nepostizanja dobrog kemijskog stanja podzemnih voda u odnosu na izračunato ukupno kemijsko stanje podzemnih vodnih tijela prema svim testovima. Vjerojatno se ne postižu ciljevi dobrog kemijskog stanja na 3 TPV: Varaždinsko područje, Južna Istra i Boljkovac - Golubinka (slika 5).

3.2. Rizik od nepostizanja dobrog količinskog stanja

Ocjena rizika od nepostizanje dobrog količinskog stanja provedena je na temelju podataka o prekoračenju maksimalnih dozvoljenih crpnih količina za potrebe javne vodoopskrbe, te na temelju podataka o trendu snižavanja razina podzemne vode u panonskom dijelu Republike Hrvatske, odnosno trendu snižavanja protoka na izvorištima u krškom dijelu Republike Hrvatske. Vjerojatno ne postiže ciljeve dobrog količinskog stanja 5 TPV: Zagreb, Varaždinsko područje, Istočna Slavonija - sliv Save, Istočna Slavonija - sliv Drave i Dunava i Boljkovac - Golubinka (slika 6).

Pregled rezultata rizika od nepostizanja okolišnih ciljeva prema broju vodnih tijela dan je u tablici 1.



Slika 5. Procijenjena rizika za kemijsko stanje



Slika 6. Procijenjena rizika za količinsko stanje

Tablica. 1. Rezultati analize procjene rizika nepostizanja okolišnih ciljeva

	Broj TPV	Rizik na kemijsko stanje			Broj TPV	Rizik na količinsko stanje		
Područje podsliva rijeke Save	14	10	4		14	7	5	2
Područje podsliva rijeke Drave i Dunava	6	2	3	1	6	3	1	2
Vodno područje rijeke Dunav	20	12	7	1	20	9	7	4
Jadransko vodno područje	13	7	4	2	13	10	2	1
Republika Hrvatska	33	19	11	3	33	19	9	5
	Vjerojatno postiže ciljeve							
	Procjena nepouzdana							
	Vjerojatno ne postiže ciljeve							

ZAKLJUČAK

Za ocjenu kemijskog i količinskog stanja te rizika od nepostizanja okolišnih ciljeva treba se dobro odrediti prvenstveno granične vrijednosti onečišćujućih tvari, pri čemu treba voditi računa o pozadinskim vrijednostima i antropogenom utjecaju. Ključno je odabrati dobru metodologiju s obzirom na različite hidrogeološke karakteristike, kao i puteve onečišćenja različitih onečišćivača. Svaki plan upravljanja vodnim područjima napreduje u odnosu na prethodni s obzirom na metodologiju, preciznije granične vrijednosti, količinu podataka, bolju mrežu pokrivenosti monitoringa, istraživanja, kao i provedbu mjera u konačnom cilju postizanja okolišnih ciljeva.

LITERATURA

- [1] Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu (2016): *Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području krša u Hrvatskoj*; Varaždin.
- [2] Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu (2019): *Definiranje kriterija za utvrđivanje stanja tijela podzemne vode kod pojave zaslanjenja*; Varaždin.
- [3] Hrvatski geološki institut (2016): *Ocjena stanja podzemnih voda na područjima koja su u direktnoj vezi s površinskim vodama i kopnenim ekosustavima ovisnim o podzemnim vodama*; Zagreb.
- [4] Hrvatski geološki institut (2020): *Monitoring starosti podzemne vode za potrebe definiranja učinkovitosti mjera zaštite*, Zagreb.
- [5] Rudarsko geološko naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu (2016): *Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području panonskog dijela Hrvatske*; Zagreb.

-
- [6] Rudarsko geološko naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu (2018): *Definiranje kriterija za određivanje pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tijelima podzemne vode u panonskom dijelu Hrvatske*; Zagreb.
- [7] Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. (Narodne novine, broj 66/16)
- [8] Plan upravljanja vodnim područjima do 2027. (Narodne novine, broj 84/23)
- [9] Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o standardu kakvoće voda (Narodne novine, broj 20/23)
- [10] Zakon o vodama (Narodne novine, br. 66/19, 84/21 i 47/23)

AUTORI

mr. sc. Daria Čupić, dipl. ing. geol. ^a

mag. ing. geol. Hrvoje Herceg ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb 10000, Hrvatska,
daria.cupic@voda.hr, hrvoje.herceg@voda.hr



R 4.10.

KEMIJSKO STANJE PODZEMNIH VODA NA MONITORING POSTAJAMA JADRANSKOG VODNOG PODRUČJA

Alma Tudić

SAŽETAK: Kemijsko stanje podzemnih voda ocjenjuje se na osnovu rezultata monitoringa sukladno Uredbi o standardu kakvoće voda (Narodne novine, br. 96/19, 20/23 i 50/23).

Praćenje kemijskog stanja podzemnih voda na monitoring postajama prvi je korak, te alat prema ocjeni kemijskog stanja podzemnih voda. U ovom radu dan je pregled kemijskog stanja podzemnih voda na monitoring postajama jadranskog vodnog područja u razdoblju od 2019. do 2022. godine.

KLJUČNE RIJEČI: Podzemne vode, Monitoring, Ocjena stanja, Kemijsko stanje

CHEMICAL STATUS OF GROUNDWATER AT THE MONITORING STATIONS OF THE ADRIATIC RIVER BASIN DISTRICT

ABSTRACT: The chemical status of groundwater is assessed based on monitoring results pursuant to the Regulation on water quality standard (Official Gazette 96/19, 20/23 and 50/23).

The monitoring of the chemical status of groundwater at monitoring stations is the first step and a tool towards the assessment of the chemical status of groundwater. The paper provides an overview of the chemical status of groundwater at the monitoring stations in the Adriatic River Basin District in the period from 2019 to 2022.

KEYWORDS: Groundwater, Monitoring, Status assessment, Chemical status

1. UVOD

Tema ovog rada je ocjena kemijskog stanja podzemnih voda na mjernim postajama na jadranskom vodnom području u razdoblju od 2019. do 2022. godine. Rezultati monitoringa stanja podzemnih voda koriste se za ocjenu kemijskog i količinskog stanja prema zahtjevima Uredbe o standardu kakvoće voda (Narodne novine, br. 96/19, 20/23 i 50/23) (u daljnjem tekstu Uredba) koja propisuje standarde kakvoće za površinske i podzemne vode, kao i opseg i vrste monitoringa. Za Plan upravljanja vodnim područjima do 2027

godine za ocjenu tijela podzemnih voda uzeto je u obzir stanje na monitoring postajama od 2014. do 2019. godine, te je ocjena tijela podzemnih voda napravljena prema metodologiji korištenoj za Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. Dobro stanje temelji se na zadovoljavanju uvjeta ciljeva Okvirne direktive o vodama 2000/60/EZ (u daljnjem tekstu ODV) i Direktive o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja stanja 2006/118/EZ (u daljnjem tekstu DZPV). Ocjena kemijskog i količinskog stanja provodi se primjenom klasifikacijskih testova. Metodologija za ocjenu kemijskog stanja razlikuje se za panonski od krškog područja Republike Hrvatske zbog različitih hidrogeoloških karakteristika aluvijalnih vodonosnika dominantnih u panonskom, te krških u krškom dijelu područja. U ovom radu je nadalje napravljena ocjena stanja na monitoring postajama na jadranskom vodnom području od 2019. do 2022. godine, kao daljnja priprema za analizu provedbe Plana upravljanja vodnim područjima do 2027 godine.

Ukoliko su sve postaje na podzemnom vodnom tijelu u dobrom stanju, tijelo podzemnih voda se dalje ne testira. Ako je jedna monitoring postaja u lošem stanju tijelo podzemnih voda se ocjenjuje na temelju klasifikacijskih testova.

Prva sustavna praćenja kakvoće podzemnih voda kaptiranih izvorišta na području krša započeta su 80 - tih godina prošlog stoljeća. Takva se sustavna praćenja provode u svrhu utvrđivanja kemijskog stanja voda, dugoročnih promjena prirodnih uvjeta, promjena uzrokovanih intenzivnim ljudskim aktivnostima, kao i promjena uslijed provođenja mjera na područjima za koja je utvrđeno da ne ispunjavaju uvjete za dobro stanje. Kao posljedica usklađenja s ODV i Zakonom o vodama (Narodne novine, br. 66/19, 84/21 i 47/23) propisan je monitoring stanja voda, što zahtijeva uspostavu praćenja količinskog i kemijskog stanja za podzemne vode. Kako bi se moglo odrediti stanje voda propisano Zakonom o vodama i Uredbom definirani su standardi kakvoće voda za podzemne vode i granične vrijednosti specifičnih onečišćujućih tvari u podzemnim vodama. Temeljem kriterija koje propisuje Uredba u Prilogu 6. načinjena je ocjena kemijskog stanja podzemnih voda na monitoring postajama, u ovom radu za pokazatelje za koje su propisane vrijednosti standarda kakvoće (nitrati i aktivne tvari sredstava za zaštitu bilja), kao i za pokazatelje za koje su propisane granične vrijednosti (specifične onečišćujuće tvari). Ocjena kemijskog stanja na monitoring postajama i prikaz ostalih rezultata praćenja kakvoće podzemnih voda prikazani su za jadransko vodno područje, a unutar njih za grupirana vodna tijela podzemnih voda. Temelj danih ocjena bili su planovi monitoringa za tekuće godine od 2019. do 2022. Uzorkovanja su provedena s učestalošću od 4 puta godišnje.

2. MONITORING KEMIJSKOG STANJA PODZEMNIH VODA

Monitoring kemijskog stanja podzemnih voda osigurava cjelovit pregled kemijskog stanja podzemnih voda na vodnom području i omogućava utvrđivanje prisutnosti znatno i trajno rastućeg trenda onečišćenja. Obuhvaća nadzorni i operativni monitoring. Operativni se uvodi u podzemnim vodnim tijelima koja su ocijenjena kao loša i u tijelima koja se nalaze u riziku. Nadzorni monitoring provodi se radi:

- ocjene stanja na tijelima podzemne vode,
- vrednovanja i dopunjavanja postupka ocjenjivanja utjecaja onečišćenja,
- pribavljanja informacija za ocjenu znatno i trajno rastućih trendova koji su rezultat promjena prirodnih uvjeta i utjecaja djelatnosti čovjeka.

Operativni monitoring provodi se u razdobljima programa nadzornog monitoringa radi:

- utvrđivanja kemijskog stanja svih podzemnih voda za koje je analizom značajki vodnih područja utvrđeno stanje rizika, te loše stanje.

Tablica 1. Broj monitoring postaja na tijelima podzemnih voda od 2019. - 2022. godine

KOD	TIJELO PODZEMNE VODE	VODNO PODRUČJE	2019. godina			2020. godina			2021. godina			2022. godina		
			NACIONALNI MONITORING			NACIONALNI MONITORING			NACIONALNI MONITORING			NACIONALNI MONITORING		
			Ukupan broj monitoring postaja	NADZORNI	OPERATIVNI	Ukupan broj monitoring postaja	NADZORNI	OPERATIVNI	Ukupan broj monitoring postaja	NADZORNI	OPERATIVNI	Ukupan broj monitoring postaja	NADZORNI	OPERATIVNI
JKGI-01	SJEVERNA ISTRA	JADRANSKO VODNO PODRUČJE	5	5	-	5	5	-	5	5	-	5	5	-
JKGN-02	SREDNJA ISTRA		11	11	3	11	11	3	11	11	3	11	11	1
JKGN-03	JUŽNA ISTRA		6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
JKGI-04	RUŠKI ZALJEV		2	2	-	2	2	-	2	2	-	2	2	-
JKGI-05	RUJKA - BAKAR		5	5	-	5	5	-	5	5	-	5	5	-
JKGI-06	LJKA - GACKA		5	5	-	5	5	-	5	5	-	5	5	-
JKGN-07	ZRMANJA		3	3	-	3	3	-	3	3	-	3	3	1
JKGN-08	RAVNI KOTARI		3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4
JKGN-09	BOLJKOVAC- GOLUBINKA		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
JKGI-10	KRKA		4	4	-	4	4	-	5	5	-	5	5	2
JKGI-11	CETINA		7	7	1	7	7	1	7	7	1	7	7	4
JKGI-12	NERETVA		11	11	1	11	11	1	12	12	1	12	12	6
JOGN-13	JADRANSKI OTOČI		10	8	4	8	8	2	10	10	3	10	10	7
UKUPAN BR. POSTAJA			74	72	20	72	72	18	76	76	19	77	77	33

3. OCJENA KEMIJSKOG STANJA PODZEMNIH VODA NA MONITORING POSTAJAMA

Monitoring kemijskog stanja podzemnih voda treba osigurati cjelovitu informaciju o kemijskom stanju pojedinog vodnog tijela i vodnog područja u cjelini te omogućiti utvrđivanje prisutnosti znatnog i trajno rastućeg trenda onečišćenja.

Za ocjenu kemijskog stanja tijela podzemne vode prate se pokazatelji u okviru nadzornog i operativnog monitoringa te standardi: prosječna godišnja koncentracija nitrata i aktivnih tvari pesticida (pojedinačnih i ukupno ispitanih) na svim monitoring postajama unutar tijela podzemne vode i uspoređuje se sa standardom kakvoće podzemnih voda prema Uredbi.

Uz standarde kakvoće podzemnih voda, za ocjenu kemijskog stanja uzima se prosječna godišnja koncentracija specifičnih onečišćujućih tvari prema Uredbi i to: arsena, kadmija, olova, žive, amonija, klorida, sulfata, ortofosfata, nitrita, ukupnog fosfora, zbroja trikloretilena i tetrakloretilena, te električne vodljivosti na svim monitoring postajama unutar tijela podzemne vode (u daljnjem tekstu TPV) i uspoređuje se s graničnim vrijednostima.

4. REZULTATI ISPITIVANJA

4.1. Rezultati na monitoring postajama

Na jadranskom vodnom području uzorkovanje i analitika odvijali su se na svim monitoring postajama prema Planovima monitoringa za podzemne vode za tekuće godine od

2019. - 2022. godine.

U dobrom stanju su sve monitoring postaje na sljedećim grupiranim tijelima podzemne vode:

- Sjeverna Istra,
- Južna Istra,
- Lika - Gacka,
- Zrmanja,
- Ravni kotari,
- Krka.

Prekoračenje standarda / graničnih vrijednosti zabilježeno je na monitoring postajama, te su one ocijenjene kao loše na sljedećim grupiranim tijelima podzemnih voda:

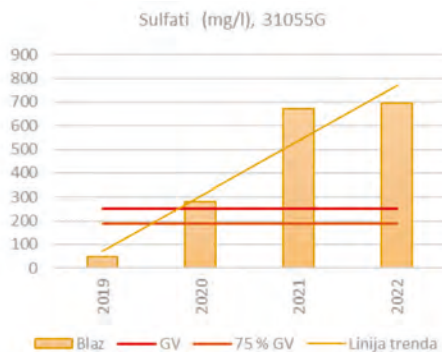
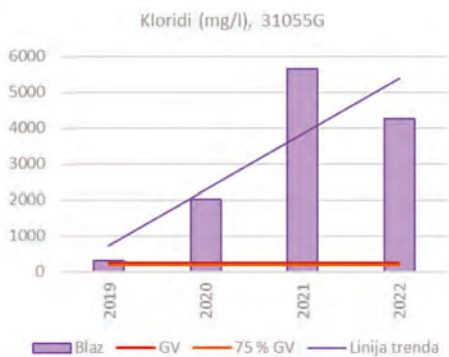
1. TPV Središnja Istra - U 2019. godini zabilježeno je prekoračenje granične vrijednosti na jednoj postaji za kloride, u 2020. na 3 postaje za kloride sulfate i električnu vodljivost. U 2021. godini prekoračenja graničnih vrijednosti bila su na jednoj postaji za kloride i sulfate, dok su u 2022. godini prekoračenja bila u 3 postaje za sulfate, kloride i električnu vodljivost.
2. TPV Boljkovac - Golubinka - U 2019. i 2020. godini prekoračenja graničnih vrijednosti bila su za kloride, na jednoj postaji u obje godine, dok su u 2021. godini prekoračenja na jednoj postaji za kloride i nitrite. U 2022. godini prekoračenja su zabilježena na obje postaje istog i to u kloridima, nitritima i električnoj vodljivosti.
3. TPV Cetina - Na jednoj postaji zabilježeno je prekoračenje granične vrijednosti za ukupni fosfor.
4. TPV Neretva - Za tijelo podzemne vode Neretva zabilježeno je loše stanje na jednoj monitoring postaji, u sve četiri godine. Radi se o prekoračenju granične vrijednosti parametra klorida.
5. TPV Riječki zaljev - Na jednoj monitoring postaji zabilježeno je prekoračenje granične vrijednosti klorida, i to samo u 2021. godini.
6. TPV Rijeka - Bakar - Za tijelo podzemne vode Rijeka - Bakar zabilježeno je loše stanje na dvije monitoring postaje i to u 2022. godini za kloride i električnu vodljivost.
7. TPV Jadranski otoci - U 2021. i 2022. godini prekoračenje graničnih vrijednosti za nitrite zabilježeno je na jednoj postaji.

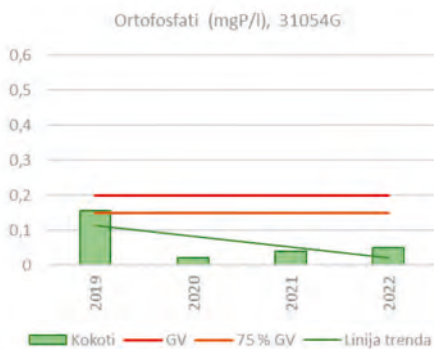
Tablica 2. Stanje podzemnih voda na monitoring postajama 2019. - 2022. godine na jadranskom vodnom području

Kod	Naziv tjela podzemnih voda	2019. godi			2020. godi			2021. godi			2022. godi						
		Ukupan broj monitoring postaja	STANJE		Ukupan broj monitoring postaja	STANJE		Ukupan broj monitoring postaja	STANJE		Ukupan broj monitoring postaja	STANJE					
			LOŠE	Parametar i broj prekoračenja		DOBRO	LOŠE		Parametar i broj prekoračenja	DOBRO		LOŠE	Parametar i broj prekoračenja	DOBRO			
JKG-01	SJEVERNA ISTRA	5	-		5	5	-	5	5	-	5	5	-	5			
JKGN-02	SREDNJA ISTRA	11	1	KLORIDI(1)	10	11	3	KLORIDI(1), SULFATI(1) ELEKTRIČNA VODLJIVOST	8	11	1	KLORIDI(1), SULFATI(1)	10	11	3	KLORIDI(1), SULFATI(1) ELEKTRIČNA VODLJIVOST(1)	8
JKGN-03	JUŽNA ISTRA	6	-		6	6	-		6	6	-		6	6	-		6
JKG-04	RUŠEVI ZALJEV	2	-		2	2	-		2	2	1	KLORIDI(1)	1	2	-		2
JKG-05	RUŠEVA-BAKAR	5	-		5	5	-		5	5	-		5	5	2	KLORIDI(1) ELEKTRIČNA VODLJIVOST(1)	3
JKG-06	LIKA-GACKA	5	-		5	5	-		5	5	-		5	5	-		5
JKGN-07	ZBMANJA	3	-		3	3	-		3	3	-		3	3	-		3
JKGN-08	RAVNI KOTARI	3	-		3	3	-		3	3	-		3	4	-		4
JKGN-09	BOLJKOVAC-GOLUBINKA	2	1	KLORIDI(1)	1	2	1	KLORIDI(1)	1	2	1	KLORIDI(1), NITRITI(1)	1	2	2	KLORIDI(2), NITRITI(1) ELEKTRIČNA VODLJIVOST(1)	0
JKG-10	KRKA	4	-		5	4	-		4	5	-		5	5	-		5
JKG-11	CEITNA	7	-		7	7	-		7	7	-		7	7	1	UKUPNI FOSFOR(1)	6
JKG-12	NRETVIA	11	1	KLORIDI(1)	10	11	1	KLORIDI(1)	10	12	1	KLORIDI(1)	11	12	1	KLORIDI(1)	11
JOGN-13	JADRANSKI OTOCI	10	2		8	8	2		6	8	1	NITRITI(1)	7	10	1	NITRITI(1)	9
UKUPAN BROJ ST.	JADRANSKO VODNO PODRUČJE	74	5		70	72	7		65	74	5		69	77	10		67

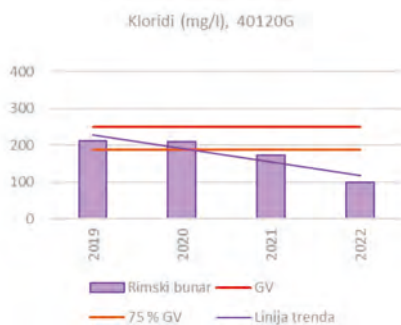
4.2. Trendovi promjene koncentracija onečišćujućih tvari od 2019. do 2022. godine

U nastavku su prikazani linearni trendovi vrijednosti prosječnih godišnjih koncentracija na jadranskom vodnom području.

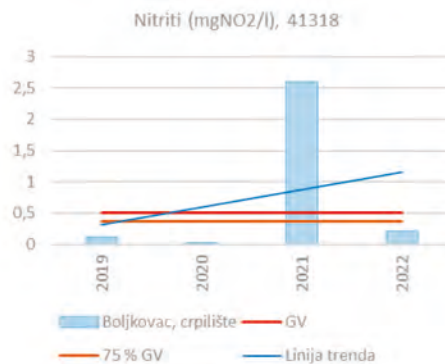
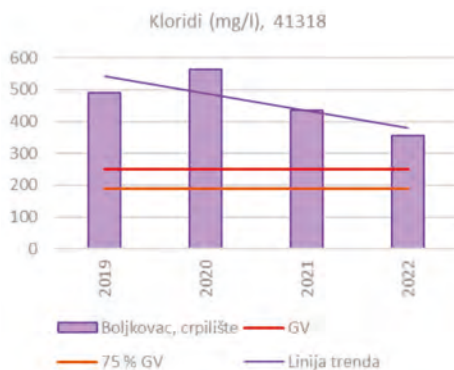




Slika 1. Tijelo podzemnih voda Središnja Istra



Slika 2. Tijelo podzemnih voda Cetina



Slika 3. Tijelo podzemnih voda Boljkovac - Golubinka

ZAKLJUČAK

Srednje godišnje koncentracije onečišćujućih tvari promatrane su u podzemnoj vodi na monitoring postajama u tijelima podzemnih voda u razdoblju od 2019. do 2022. godine. Cilj je utvrditi trend kretanja onih koncentracija koje su bile više od 75 % granične vrijednosti specifičnih onečišćujućih tvari, odnosno standarda kakvoće podzemnih voda. Budući da se na monitoring postajama po tijelima podzemne vode kontinuirano prate sva prekoračenja, trendovi se revidiraju s obzirom na nove podatke.

Iz grafova zaključujemo da se na vodnom tijelu Središnja Istra radi o uzlaznom trendu klorida i sulfata na jednoj monitoring postaji Blaž kroz ove četiri godine, odnosno o silaznom trendu ortofosfata na monitoring postaji Kokoti. Na tijelu podzemnih voda Cetina radi se o silaznom trendu za kloride na monitoring postaji Rimski bunar, dok se na tijelu podzemnih voda Boljkovac - Golubinka uočava silazni trend klorida na monitoring postaji Boljkovac, te zabrinjavajući uzlazni trend nitrita, što govori o utjecaju poljoprivrede. Zaključno iz navedene analitike na monitoring postajama možemo zaključiti da je na jadranskom vodnom području relativno dobro kemijsko stanje podzemnih voda, te da postoje pojedinačni problemi povezani s kloridima i sulfatima zbog pretjeranog crpljenja, te nitritima čiji je uzrok poljoprivreda.

LITERATURA

- [1] Hrvatske vode (2020.): Izvješće o stanju podzemnih voda u 2019. godini, <https://voda.hr/hr/godisnji-planovi-i-izvjesca-o-provedenom-monitoringu>
- [2] Hrvatske vode (2021.): Izvješće o stanju podzemnih voda u 2020. godini, <https://voda.hr/hr/godisnji-planovi-i-izvjesca-o-provedenom-monitoringu>
- [3] Hrvatske vode (2022.): Izvješće o stanju podzemnih voda u 2021. godini, <https://voda.hr/hr/godisnji-planovi-i-izvjesca-o-provedenom-monitoringu>
- [4] Okvirna direktiva o vodama, 2000/60/EZ
- [5] Direktiva o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja stanja, 2006/118/EZ
- [6] Plan upravljanja vodnim područjima do 2027 (Narodne novine, br. 84/23)
- [7] Uredba o standardu kakvoće voda (Narodne novine, br. 96/19, 20/23 i 50/23)
- [8] Zakon o vodama (Narodne novine, br. 66/19, 84/21 i 47/23)

AUTOR

Alma Tudić, dipl.ing.preh.teh. ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, alma.tudic@voda.hr



R 4.11.

ANALIZA KAKVOĆE VODE PULSKIH BUNARA I STANJE TIJELA PODZEMNE VODE JUŽNA ISTRA

Maja Oštrić, Nataša Mihelčić

SAŽETAK: Vodoopskrba Pule temeljila se do 90-ih godina na zahvaćanju voda iz izvora Rakonek te 14 bunara na širem području Pule, a koji su zbog onečišćenja postupno isključivani iz vodoopskrbnog sustava. Najveći utjecaj na lošu kakvoću podzemnih voda imaju nitrati, koji uglavnom potječu od poljoprivrede, a značajan dio dolazi i iz otpadnih voda. Iako su pulski bunari nekad osiguravali većinu pitke vode, danas se vodoopskrba ovog područja temelji na vodi s udaljenih izvorišta, a voda iz pojedinih bunara samo se iznimno koristi u sušnim godinama. Pulski bunari, unatoč tome i dalje se štite zonama sanitarne zaštite, što u smislu upravljanja prostorom predstavlja znatno ograničenje. Dodatni problem na ovom području predstavlja i postojanje vrlo velikog broja privatnih bunara čijim korištenjem, prvenstveno za potrebe navodnjavanja, dolazi do dodatnog optećenja ovog vodonosnika. Osim toga, tijelo podzemne vode Južna Istra (JKGN-03) je prema Planu upravljanja vodnim područjima, u lošem stanju, jer je na većem broju točaka monitoringa zabilježeno prekoračenje koncentracija nitrata iznad standarda kakvoće podzemnih voda. U ovom je radu napravljena analiza kakvoće na pulskim bunarima koji su u sustavu monitoringa.

KLJUČNE RIJEČI: Pulski bunari, Loše kemijsko stanje, Nitrati, Podzemne vode

ANALYSIS OF WATER QUALITY IN PULA'S WELLS AND STATUS OF GROUNDWATER BODY SOUTHERN ISTRIA

ABSTRACT: Until 1990s, the water supply of Pula was based on water abstraction from the Rakonek spring and 14 wells in the greater Pula area, which were gradually excluded from the water supply system due to pollution. Nitrates have the greatest impact on poor groundwater quality. They mostly originate from agriculture, although a significant part comes from wastewater as well. Although Pula's wells used to provide the majority of drinking water, today's water supply of this area is based on water from distant sources, while water from individual wells is used exceptionally during dry years. Regardless, Pula's wells are still protected with sanitary protection zones, which, in terms of space management, creates a significant constraint. A further problem in this area is also the existence of a very large number of private wells whose use, primarily for irrigation, is an additional load for this aquifer. Furthermore, the groundwater body Southern Istria

(JKGN-03 Južna Istra) has, according to the River Basin Management Plan, a poor status, since the nitrate concentrations recorded on a larger number of monitoring points exceed the groundwater quality standard. The paper presents a conducted analysis of water quality of Pula's wells that are part of the monitoring system.

KEYWORDS: Pula's wells, Poor chemical status, Nitrates, Groundwater

1. UVOD

Vodoopskrba Pule temeljila se do 90-ih godina na zahvaćanju voda iz izvora Rakonek te 14 bunara na širem području Pule: Tivoli, Valdragon III, IV, V, Fojbon, Škatari, Jedreški, Šišan, Campanož, Lokvere, Ševe, Rizzi, Karpi, Peroj. Izvor Karolina i pojedini bunari su zbog onečišćenja postupno isključivani iz vodoopskrbnog sustava. Najveći utjecaj na lošu kakvoću podzemnih voda imaju nitrati, koji uglavnom potječu od poljoprivrede, a može se pretpostaviti da značajan dio dolazi i iz otpadnih voda. Iako su pulski bunari nekad osiguravali većinu pitke vode (u razdoblju 1980. - 1990. srednji godišnji kapacitet svih bunara bio je oko 180 l/s), danas se vodoopskrba ovog područja temelji na vodi transportiranoj s udaljenih izvora Gradole i akumulacije Butoniga, a voda iz pojedinih bunara samo se periferno koristi, izuzev u uvjetima iznimno sušnih godina kakve su bile 2012. i 2022. kada se aktiviraju i neki od inače neaktivnih bunara (Oštrić i Pekaš, 2022). Pulski bunari, iako se uglavnom više ne koriste u vodoopskrbi, osim nekih u sušnim ljetnim mjesecima, i dalje se štite zonama sanitarne zaštite, što u smislu upravljanja prostorom predstavlja znatno ograničenje. Zaštita pulskih bunara je kompleksna i teško izvediva obzirom na urbaniziranost područja i poljoprivredne aktivnosti u privatu. Dodatni problem na ovom području predstavlja i postojanje vrlo velikog broja privatnih bunara čijim korištenjem, prvenstveno za potrebe navodnjavanja, dolazi do precrpljivanja vodonosnika. Time se već sada povremeno uzrokuju intruzije slane vode u vodonosnik na pojedinim dijelovima prostora, a u budućnosti to može izazvati daleko veće posljedice. Osim toga, tijelo podzemne vode Južna Istra (JKGN-03) je prema Planu upravljanja vodnim područjima (PUVP) do 2027. u lošem stanju, jer je na većem broju točaka monitoringa zabilježeno prekoračenje koncentracija nitrata iznad standarda kakvoće podzemnih voda. U ovom radu je dana ocjena stanja kakvoće vode pulskih bunara: Valdragon 5, Šišan, Jadreški, Ševe, Campanož, Tivoli, Rizzi, Fojbon i Škatari u razdoblju od 2013. - 2022. godine. Za ocjenu stanja tijela podzemne vode JKGN_03 JUŽNA ISTRA korišteni su podatci Hrvatskih voda te dodatno i podaci iz programa praćenja kakvoće voda Istarske županije i Vodovoda Pula d.o.o. za javnu vodoopskrbu.

2. TIJELO PODZEMNE VODE JUŽNA ISTRA

U prvom PUVP 2013. - 2015., tijelo podzemne vode Južna Istra (HR_KCPV_03) obuhvaćalo je površinu od 391 km² i bilo je lošeg količinskog i kemijskog stanja. Loše količinsko stanje ocijenjeno je s obzirom na loše stanje prema testu zaslanjenja te vjerojatno loše prema testu bilance voda.

U Planu upravljanja vodnim područjima (PUVP) 2016. - 2021. područje tijela podzemne vode HR_TPV JKGN_03 - Južna Istra smanjeno je na područje oko pulskih bunara odnosno na šire područje grada Pule, Premanture i Medulina na jugu i Valture na sjeveru,

na površinu od 144 km² zbog kvalitetnijeg provođenja mjera na tome području. Smanjenjem površine TPV JKG_N_03 - Južna Istra, bunari Karpi i Peroj prelaze u HR_JKG_N_02 - Središnja Istra. U drugom PUV_P 2016. - 2021., utvrđeno je da je tijelo podzemne vode Južna Istra (JKG_N_03), lošeg kemijskog stanja, zbog povišenih nitrata. Iste su smanjene granice tijela podzemne vode Južna Istra preuzete i u trenutno važećem PUV_P do 2027. te je utvrđeno loše kemijsko stanje.

Stanje tijela podzemne vode određuje se na temelju rezultata monitoringa podzemnih voda sukladno Uredbi o standardu kakvoće voda (Narodne novine, br. 96/19, 20/23 i 50/23) i metodologijama iz Plana upravljanja vodnim područjima, odnosno temeljem rezultata klasifikacijskih testova, a ocjenjuje se u odnosu na kemijsko i količinsko stanje ovisno o tome koje je lošije i prikazuje na karti odgovarajućom bojom i to: dobro stanje zelenom bojom, a loše stanje crvenom.

2.1. Količinsko stanje

Elementi za ocjenu količinskog stanja tijela podzemnih voda su: razina podzemne vode i izdašnost, dok se za ocjenu količinskog stanja podzemnih voda koriste sljedeći testovi:

- test „Bilanca voda“,
- test „Zaslanjenja ili druga intruzija“,
- test „Površinske vode“ i
- test „Ekosustavi ovisni o podzemnim vodama“.

Prema Izvratku iz Registra vodnih tijela Plana upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027. tijelo podzemne vode JKG_N_03 JUŽNA ISTR_A ocijenjeno je: prema ukupnom količinskom stanju dobro sa visokom razinom pouzdanosti sukladno testu vodne bilance, testu zaslanjenje i druge intruzije, testu površinska voda i testu ekosustavi ovisni o podzemnim vodama (EOPV).

2.2. Kemijsko stanje

Elementi za ocjenu kemijskog stanja tijela podzemnih voda su: električna vodljivost, otopljeni kisik, pH vrijednost i onečišćujuće tvari: nitrati, pesticidi i specifične onečišćujuće tvari.

Za ocjenu kemijskog stanja podzemnih voda koriste se sljedeći testovi:

- test „Opća ocjena kakvoće“,
- test „Zaslanjenje ili druga intruzija“,
- test „Površinske vode“,
- test „Ekosustavi ovisni o podzemnim vodama“ i
- test „Zaštitne zone izvorišta vode namijenjene za ljudsku potrošnju (DWPA)“.

Prema Izvratku iz Registra vodnih tijela Plana upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027. tijelo podzemne vode JKG_N_03 JUŽNA ISTR_A ocijenjeno je: prema ukupnom kemijskom stanju ocjenom loše sa visokom razinom pouzdanosti i to sukladno testu opće kakvoće i testu zona sanitarne zaštite. Prema prosječnoj vrijednosti kritičnog parametra, nitrata, za razdoblje od 2014. - 2019. godine prekoračena je granična vrijednost testa opće kakvoće dok u 2019. godini prosječna vrijednost nitrata i amonijaka prelazi 75 %

granične vrijednosti testa te je zabilježen statistički značajan uzlazni trend na više mjernih postaja.

Hrvatske vode na području HR_TPJV JKG_N_03 - JUŽNA ISTRA prate kakvoću vode bunara Tivoli od 2000. godine. Od 2015. godine mreža opažanja proširena je na bunare Valdragon 5, Šišan, Jadreški, Ševe i Campanož. Kakvoća vode prati se 4 puta godišnje, odnosno kvartalno. Program praćenja kakvoće voda bunara u Puli prema podacima Hrvatskih voda prikazan je u Tablici 1.

Tablica 1. Program praćenja kakvoće voda bunara na tijelu podzemne vode Južna Istra (JKGN-03)

ŠIFRA	NAZIV	Vrsta programa monitoringa			Kriterij za operativni monitoring
		Nadzorni		Operativni	
		N1	N2*	O1**	
31062	Valdragon 5	Da		Da	Praćenje trenda nitrata i amonija
31063	Šišan	Da	Da	Da	Praćenje granične vrijednosti nitrata i amonija
31064	Jadreški	Da		Da	
31066	Ševe	Da		Da	
31067	Campanož	Da		Da	
31056	Tivoli	Da	Da	Da	Praćenje trenda nitrata i amonija

* N2 - Nadzorni monitoring sa svim pokazateljima za vodu za piće (prema nadzornom režimu); ** O1 - Operativni monitoring na vodnim tijelima u lošem stanju ili u riziku nepostizanja dobrog stanja s pojačanom dinamikom praćenja odgovarajućeg pokazatelja

U okviru nadzornog monitoringa prate se osnovni (pH, temperatura, otopljeni kisik, električna vodljivost, nitrati i amonij) i dodatni pokazatelji. Na mjernim postajama na kojima je utvrđeno loše stanje ili je ustanovljen rizik nepostizanja dobrog stanja, uz nadzorni monitoring uspostavlja se i operativni monitoring koji treba omogućiti: pouzdanu ocjenu količinskog i kemijskog stanja TPV; utvrditi prisutnost dugotrajnih i stalnih uzlaznih trendova onečišćujućih tvari; procjenu djelotvornosti provedbe programa mjera.

U ovom radu je dana ocjena stanja kakvoće vode devet pulskih bunara: Valdragon 5, Šišan, Jadreški, Ševe, Campanož, Tivoli, Rizzi, Fojbon i Škatari) u razdoblju od 2013. - 2022. godine. Za ocjenu stanja tijela podzemne vode JKG_N_03 JUŽNA ISTRA korišteni su uz podatke Hrvatskih voda dodatno i podaci iz programa praćenja kakvoće voda Istarske županije i Vodovoda Pula d.o.o. za javnu vodoopskrbu.

a) Nitrati:

Najveći problem na području TPV JKG_N_03 JUŽNA ISTRA, odnosno pulskih bunara je visok sadržaj ukupnog dušika pri čemu su najznačajnija komponenta nitrati.

U Tablici 2 prikazane su srednje godišnja vrijednost nitrata, u razdoblju od 2013. - 2022. godine, koje prelaze 75 % granične vrijednosti standarda kakvoće na bunarima

Campanož, Škatari, Fojbon, Šišan, Jadreški i Rizzi dakle na šest bunara od devet. Na bunarima Campanož i Škatari kroz 6 godina prosječna vrijednost nitrata prelazi čak i standard kakvoće vode (SKV) tj. vrijednost od 50 mg/l NO₃⁻, a na bunaru Fojbon je vrlo blizu prekoračenja. Na bunarima Ševe i Valdragon 5 samo se maksimalne godišnje vrijednosti nitrata približavaju se vrijednosti 75 % standarda kakvoće vode (75 % SKV) i to u 2014., 2020. i 2022. godini.

Bunar Tivoli jedini od pulskih bunara ima niske vrijednosti nitrata sa najvišom srednjom godišnjom vrijednosti od 16,73 mg/L NO₃⁻, odnosno maksimalnom od 20,71 mg/l NO₃⁻. Maksimalne godišnje vrijednosti nitrata prekoračile su standard kakvoće voda kroz cijelo promatrano desetgodišnje razdoblje na bunarima Škatari i Campanož, dok su na bunaru Fojbon prekoračile kroz pet godina, a u ostalim godinama vrijednosti su vrlo blizu standarda kakvoće voda (Tablica 3).

Tablica 2. Srednje godišnje vrijednosti nitrata na pulskim bunarima u razdoblju od 2013. - 2022.

Bunar/God	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Campanož	50,30	55,74	58,40	49,39	46,58	46,27	50,96	48,44	48,11	46,13
Šišan	41,10	39,89	39,76	40,50	39,69	38,91	39,42	38,20	36,31	38,16
Jadreški	42,94	40,94	40,54	38,05	37,11	38,85	38,84	38,90	36,11	46,48
Fojbon	46,11	46,30	43,16	44,75	45,21	44,97	49,57	49,69	41,25	45,35
Rizzi	38,16	37,07	33,99	38,31	36,93	36,48	37,61	37,61	32,48	35,04
Škatari	57,35	49,00	43,92	49,77	50,36	46,58	48,55	46,63	43,75	61,55
Ševe	24,33	24,91	25,10	25,19	24,06	26,60	27,06	30,01	31,02	27,57
Valdragon 5	27,47	29,67	28,31	29,30	32,13	29,96	28,64	25,91	22,46	29,81
Tivoli	16,67	16,73	16,06	15,87	-	-	12,54	12,75	12,74	-
SKV	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
75 % SKV	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5

Tablica 3. Maksimalne godišnje vrijednosti nitrata na pulskim bunarima u razdoblju od 2013. - 2022.

Bunar/God	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Campanož	54,70	58,08	62,57	51,20	51,39	49,90	53,62	57,38	52,08	51,47
Šišan	47,20	49,48	42,82	43,58	42,26	42,70	44,16	43,54	40,33	40,42
Jadreški	47,84	45,99	44,47	39,66	40,32	41,29	42,97	46,34	44,83	50,59
Fojbon	53,00	47,69	46,37	51,59	50,95	48,85	52,97	53,7	4 ³ 70	48,55
Rizzi	44,40	38,86	36,95	40,96	38,73	38,99	39,43	39,64	35,00	37,8

Bunar/God	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Škatari	61,35	57,38	53,00	58,97	58,71	62,24	68,42	61,8	52,97	63,22
Ševe	32,21	28,75	28,02	27,39	28,46	29,07	29,06	36,64	35,50	32,07
Valdragon 5	35,57	40,84	32,29	33,24	33,67	32,07	32,78	31,90	28,67	32,27
Tivoli	19,25	20,71	18,15	18,55	-	-	12,85	18,67	15,95	-
SKV	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
75 % SKV	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5

b) Pesticidi:

Aktivne tvari u pesticidima nisu zabilježene niti na jednom pulskom bunaru i sve izmjerene vrijednosti su ispod granice kvantifikacije metode.

c) Specifične onečišćujuće tvari:

Arsen je uglavnom zabilježen ispod granice kvantifikacije metode, osim na bunaru Šišan u 2015. kad je zabilježena srednja godišnja vrijednost od 0,95 i maksimalna vrijednost od 1,2 µg/l što je i dalje daleko ispod propisane granične vrijednosti od 10 µg/l.

Koncentracije metala kadmija, olova i žive na pulskim bunarima uglavnom su ispod granice kvantifikacije metode. Niti jednom u razdoblju od 2013. - 2022. srednje i maksimalne godišnje vrijednosti metala nisu prekoračile propisanu graničnu vrijednost. Od metala olova, kadmija i žive najčešće su zabilježene mjerljive koncentracije olova na svim bunarima osim na Campanožu.

Na svim bunarima vrijednosti amonija su ispod granične vrijednosti koja iznosi 0,5 mg NH₄⁺/l. Samo u 2019. godini povišene su srednje godišnje vrijednosti amonija na bunarima Campanož, Šišan, Ševe, Valdragon 5 i Jadreški u desetgodišnjem promatranom razdoblju. Na bunarima Jadreški i Campanož u 2019. godini prosječna godišnje vrijednost amonija iznosila je 0,4 mg NH₄⁺/l i prelazila je 75 % granične vrijednosti standarda kakvoće koji iznosi 0,375 mg NH₄⁺/l dok sam standard kakvoće 0,5 mg NH₄⁺/l nije prekoračen. Maksimalne godišnje vrijednosti amonija samo u 2019. godini prelaze standard kakvoće od 0,5 mg NH₄⁺/l na bunarima Jadreški sa vrijednosti od 1,092 mg NH₄⁺/l, Campanož sa vrijednosti od 0,923 mg NH₄⁺/l, Šišan sa vrijednosti od 0,819 mg NH₄⁺/l i Valdragon 5 sa vrijednosti od 0,611 mg NH₄⁺/l.

Srednje i maksimalne godišnje vrijednosti klorida na pulskim bunarima su daleko ispod granične vrijednosti od 250 mg/l, ali kao i parametar električna vodljivost imaju relativno visoke vrijednosti. Najviše srednje i maksimalne godišnje vrijednosti klorida u desetgodišnjem razdoblju ima bunar Ševe. Srednje godišnje vrijednosti su uglavnom oko 70 - 80 mg/L, a maksimalne oko 90 mg/l. Slijedi ga Šišan sa srednjim godišnjim vrijednostima oko 60 mg/l i maksimalnim oko 65 mg/l., te Jadreški i Škatari sa 40 do 50 mg/l.

Srednje i maksimalne godišnje vrijednosti sulfata na pulskim bunarima sve su daleko ispod granične vrijednosti 250 mg/l. Najviše su na bunarima Jadreški, Škatari, Rizzi i to od 25 - 35 mg/l, Fojbon i Campanož imaju srednje godišnje vrijednosti sulfata oko 25 mg/l. Niže vrijednosti sulfata, ispod 20 mg/l imaju bunari Valdragon 5, Ševe, Šišan i Tivoli.

Vrijednosti ortofosfata i ukupnog fosfora imaju mjerljive koncentracije, ali su kod svih bunara srednje i maksimalne godišnje koncentracije ispod propisanih graničnih vrijednosti koja za ortofosfate iznosi 0,2 odnosno za ukupni fosfor iznosi 0,35 mg P/l.

Vrijednosti nitrata su na svim bunarima ispod granice kvantifikacije metode osim na Campanožu gdje je 2015. zabilježena vrijednost od 0,041 NO₂ mg/l, Škatarima gdje je 2022. zabilježeno 0,012 NO₂ mg/l i na bunaru Rizzi u 2015. vrijednost 0,074 NO₂ mg/l. Sve tri maksimalne godišnje vrijednosti ne prelaze graničnu vrijednost od 0,5 NO₂ mg/l.

U promatranom desetgodišnjem razdoblju na bunaru Tivoli konstantno su prisutni trikloretilen i tetrakloretilen u mjerljivim koncentracijama. Čak je i granična vrijednost od 10 µg/l prekoračena u 2013. i 2020. godini sa iznosima od 12,57 i 14,78 µg/l. Mjerljive koncentracije ovih parametara zabilježene su i na bunaru Šišan, sa vrijednostima od 0,5 µg/l do maksimalno 1,96 µg/l. Na bunaru Ševe od 2013. - 2017. zabilježene su vrijednosti od 0,13 do 1,72 µg/l.

d) Električna vodljivost:

Srednje (tablica 4) i maksimalne (tablica 5) godišnje vrijednosti električne vodljivosti imaju visoke vrijednosti na pulskim bunarima iako ne prelaze propisanu graničnu vrijednost od 2.500 µS/cm. Na svim bunarima srednje godišnje vrijednosti električne vodljivosti pri 25 °C kreću se uglavnom preko 700 do 900 µS/cm (Tablica 4). Najviše srednje i maksimalne godišnje vrijednosti električne vodljivosti imaju bunari Jadreški, Šišan, Ševe i Škatarari, uglavnom preko 900 µS/cm, slijede ih Rizzi, Fojbon i Tivoli sa srednjim godišnjim vrijednostima od 800 do 900 µS/cm. Bunarima Valdragon 5 i Campanož srednje godišnje vrijednosti električne vodljivosti rijetko prelaze 820 µS/cm. U jednom mjerenju od tri, u ožujku 2014. godine na bunaru Campanož zabilježena je vrijednost električne vodljivosti 1.082 µS/cm. Inače se vrijednosti kreću oko 800 µS/cm.

Tablica 4. Srednje godišnje vrijednosti električne vodljivosti (µS/cm) na pulskim bunarima u razdoblju od 2013. - 2022.

Bunar/God	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Campanož	820	910	808	767	788	744	805	800	806	808
Valdragon 5	815	815	798	780	801	788	802	808	816	805
Šišan	975	937	919	907	918	910	920	908	902	915
Ševe	913	904	903	912	917	899	916	894	894	906
Jadreški	881	951	972	911	920	915	910	917	938	878
Tivoli	868	822	847	821	-	-	798	837	855	-
Fojbon	874	877	875	859	885	831	885	885	875	872
Rizzi	836	853	833	832	866	847	854	858	857	872
Škatarari	921	851	848	870	893	853	893	879	894	978
<i>GV (µS/cm)</i>	<i>2500</i>	<i>2500</i>	<i>2500</i>	<i>2500</i>	<i>2500</i>	<i>2500</i>	<i>2500</i>	<i>2500</i>	<i>2500</i>	<i>2500</i>

Napomena: bunar Tivoli samo dva mjerenja u 2019.g.

Tablica 5. Maksimalne godišnje vrijednosti električne vodljivosti ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na pulskim bunarima u razdoblju od 2013. - 2022.

Bunar/God	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Campanož	832	1082	817	808	805	813	892	890	814	898
Valdragon 5	825	844	831	810	809	815	823	860	847	818
Šišan	1064	955	935	933	930	926	952	924	914	938
Ševe	976	922	938	943	936	922	964	931	904	922
Jadreški	933	1015	1081	968	944	961	937	1031	958	911
Tivoli	876	848	866	854	-	-	816	864	871	-
Fojbon	878	891	887	883	904	892	893	897	894	878
Rizzi	889	877	902	896	878	886	877	872	877	878
Škatari	974	949	949	908	960	946	973	973	965	988
<i>GV ($\mu\text{S}/\text{cm}$)</i>	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500

ZAKLJUČAK

U ovom radu obrađena je kakvoća vode pulskih bunara Tivoli, Valdragon 5, Šišan, Ševe, Jadreški, Campanož, Rizzi, Fojbon i Škatari u razdoblju od 2013. - 2022. Prema Izvratku iz Registra vodnih tijela Plana upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027. tijelo podzemne vode JKGN_03 JUŽNA ISTRA ocijenjeno je prema ukupnom kemijskom stanju ocjenom loše s visokom razinom pouzdanosti i to sukladno testu opće kakvoće i testu zona sanitarne zaštite. Prema prosječnoj vrijednosti kritičnog parametra, nitrata, za razdoblje od 2014. - 2019. godine prekoračena je granična vrijednost testa opće kakvoće dok u 2019. godini prosječna vrijednost nitrata i amonija prelazi 75 % granične vrijednosti testa.

Ovim radom potvrđeno je da u razdoblju od 2013. - 2022. godine prosječna godišnja vrijednost nitrata prelazi 75 % granične vrijednosti SKV na bunarima Campanož, Škatari, Fojbon, Šišan, Jadreški i Rizzi dakle na šest bunara od devet analiziranih. Na bunarima Campanož i Škatari kroz 6 godina prosječna vrijednost nitrata prelazi čak i standard kakvoće tj. vrijednost od 50 mg/l NO_3^- dok je na bunaru Fojbon vrlo blizu prekoračenja. Na bunarima Valdragon 3 i Valdragon 4 u 2013., 2015. i 2016. prosječna godišnja vrijednost nitrata prelazi 75 % granične vrijednosti SKV međutim zbog malo podataka o nitratima ta ocjena nije pouzdana.

Na bunarima Jadreški i Campanož u 2019. srednje godišnje vrijednost amonija iznosi $0,4 \text{ mg NH}_4^+/\text{l}$ i prelazi 75 % granične vrijednosti standarda kakvoće koji iznosi $0,375 \text{ mg NH}_4^+/\text{l}$ dok sam standard kakvoće $0,5 \text{ mg NH}_4^+/\text{l}$ nije prekoračen. Maksimalne godišnje vrijednosti amonija samo u 2019. prelaze standard kakvoće od $0,5 \text{ mg NH}_4^+/\text{l}$ na bunarima Jadreški sa vrijednosti od $1,092 \text{ mg NH}_4^+/\text{l}$, Campanož sa vrijednosti od $0,923 \text{ mg NH}_4^+/\text{l}$, Šišan sa vrijednosti od $0,819 \text{ mg NH}_4^+/\text{l}$ i Valdragon 5 sa vrijednosti od $0,611 \text{ mg NH}_4^+/\text{l}$. U ostalim promatranim godinama prosječne i maksimalne godišnje vrijednosti amonija

na svim pulskim bunarima su ispod 75 % granične vrijednosti standarda kakvoće.

Pri tome valja naglasiti da niti jedan od analiziranih bunara nije u stalnoj upotrebi u vodoopskrbi već se koristi samo interventno tijekom suše pa su i rezultati analiza upitni. Naime, da bi uzorak za analizu kakvoće bio reprezentativan, trebalo bi duže vrijeme crpiti bunar što ovdje nije slučaj. Ovo je posebno bitno kod analize klorida i električne vodljivosti za koje je utvrđeno da su relativno visoki.

Dodatno valja naglasiti da je prvim PUVP 2013. - 2015., tijelo podzemne vode Južna Istra bilo ocijenjeno lošeg kemijskog i količinskog stanja dok je u drugom PUVP 2016-2021. količinsko stanje ocijenjeno kao dobro, uz napomenu da je prekomjerno crpljenje smanjeno kada se u bunarima pojavila slana voda.

Tome treba dodati i činjenicu da je još od kraja 90-ih godina prepoznat problem “ilegalnih” bušotina koje su na području Južne Istre rađene uglavnom za potrebe navodnjavanja. Istarska županija radi zaštite pulskih zdenaca naručila je i izradu katastra bušenih zdenaca Južne Istre (Čakić, 1997) kojim je utvrđeno 1.137 takvih objekata. S obzirom da prema podacima vodne knjige Hrvatskih voda, legalno izdanih vodopravnih dozvola na području Istarske županije ima oko 380 (oko 340 za navodnjavanje i 40-ak za tehnološke vode), a većina ih je izdana upravo za šire područje Pule, može se pretpostaviti da ovakvih objekata (legalnih i ilegalnih) ima preko 3.000 te oni zasigurno stvaraju dodatan pritisak na kakvoću i izdašnost pulskih bunara.

LITERATURA

- [1] Čakić, D., (1997): *Katastar bušenih zdenaca Južne Istre*, HGI
- [2] Oštrić, M. i Pekaš, Ž. (2022): *Vodoistražni radovi na području Pule*, Hrvatska vodoprivreda (2022/238), str 62-64.
- [3] Plan upravljanja vodnim područjima 2013. - 2015., [Plan upravljanja vodnim područjima - Nacrt \(voda.hr\)](#)
- [4] Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021., [Plan upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021. \(voda.hr\)](#)
- [5] Plan upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027., [Plan upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021. \(voda.hr\)](#)
- [6] Uredba o standardu kakvoće voda (Narodne novine, br. 96/19, 20/23, 50/23)

AUTORI

doc. dr. sc. Maja Oštrić ^a

Nataša Mihelčić, dipl. ing. ^a

^a Hrvatske vode; VGO Rijeka, Đure Šporera 3, 51000 Rijeka, Hrvatska, maja.ostric@voda.hr, natasa.mihelcic@voda.hr



R 4.12.

NOVE ONEČIŠĆUJUĆE TVARI U PODZEMNIM VODAMA

Daria Čupić, Alena Vlašić, Siniša Širac

SAŽETAK: Klimatske promjene, sve veće korištenje podzemnih voda s jedne strane, kao i sve veće opterećenje razvojem gospodarstva s druge strane, nameću integralni i održivi pristup gospodarenju podzemnim vodama. Opći cilj zakonodavstva EU-a o vodama zaštita je zdravlja ljudi i okoliša od kombiniranih učinaka toksičnih i / ili postojanih onečišćujućih tvari. Stoga je Direktiva o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja stanja donesena s ciljem zaštite i sprečavanja onečišćenja podzemnih voda u Europskoj uniji. Cilj Direktive je razviti postupke za ocjenjivanje kemijskog stanja voda, mjerila za utvrđivanje i promjenu značajnih i trajno rastućih trendova, sprečavanje ili ograničenje neizravnih ispusta u podzemne vode te mjere za smanjenje koncentracija onečišćujućih tvari.

Sadašnji zakonodavni okvir smatra se nedostatnim za zaštitu ekosustava i ljudskog zdravlja te ne osigurava najnovije informacije o povećanom onečišćenju podzemnih voda. EU direktive u području voda zahtijevaju redovitu reviziju najmanje svake četiri godine. Na temelju prijedloga EU Radne skupine za podzemne vode napravljen je prijedlog za reviziju Direktive o podzemnim vodama te za ažuriranje novih onečišćujućih tvari u podzemnim vodama: farmaceutskih spojeva, nMr metabolita pesticida i PFAS tvari kao i njihovih graničnih vrijednosti. Identificirane su nove onečišćujuće tvari s pripadajućim standardima / graničnim vrijednostima.

U radu je dan prikaz zakonodavnog okvira te načina definiranja opsega, vrste i prijedloga ispitivanja novih onečišćujućih tvari podzemnih voda u Hrvatskoj.

KLJUČNE RIJEČI: Nove onečišćujuće tvari, Direktiva o zaštiti podzemnih voda, Standard Kakvoće, Granična vrijednost, Monitoring kvalitete

NEW GROUNDWATER POLLUTANTS

ABSTRACT: Climate change and increasing use of groundwater on the one hand and increasing load from economic development on the other, call for an integrated and sustainable approach to groundwater management. The overall objective of the EU water legislation is to protect human health and the environment from combined impacts of toxic and / or persistent pollutants. For this reason, the Directive on the protection of groundwater against pollution and deterioration was adopted to protect groundwater from pollution in the European Union. The purpose of the Directive is to develop procedures

to assess the chemical status of water, establish criteria for the identification and reversal of any significant and sustained upward trends, prevent or restrict indirect discharges into groundwater, and identify measures to reduce pollutant concentrations.

The current legislative framework is considered insufficient to protect the ecosystems and human health, and it does not provide updates about increased groundwater pollution. The EU water directives require a regular review at least every four years. Based on the proposal by the EU Working Group on Groundwater, the proposal was made to revise the Groundwater Directive and to update the list of groundwater pollutants: pharmaceuticals, non-relevant metabolites of pesticides and PFAS chemicals as well as their threshold values. New pollutants have been identified with the related standards / threshold values. The paper presents the legislative framework and the methods to define the scope, type and proposal to analyse new groundwater pollutants in Croatia.

KEYWORDS: New pollutants, Groundwater Directive, Water quality standard, Threshold value, Monitoring of quality

1. UVOD

Zaštita podzemnih voda jedan je od najvećih problema današnjice. Spoznaje o količinama i kakvoći vode osnova su za uspješno gospodarenje vodnim resursima, posebice u uvjetima održivog razvitka što je i temelj Okvirne direktive o vodama EU 2000/60/EZ (u daljnjem tekstu ODV). Važnost podzemnih voda u Hrvatskoj govori činjenica da je više od 90 % vodoopskrbnih količina za gradove i naselja vezano za vodu u podzemlju. Stoga je razumljiva i važna briga oko zaštite jednog od najvažnijih životnih resursa. Važnost kao i nužnost zaštite proizlazi iz činjenice da su posebice vode, te povezani ekosustavi izloženi danas sve većim negativnim utjecajima izazvanim raznim oblicima ljudske aktivnosti koje su pojačane klimatskih promjena. Promjena klime odražava se na direktno na vodnu bilancu i u konačnici smanjuje vodoopskrbne količine.

Opći cilj zakonodavstva Europske unije o vodama je zaštita zdravlja ljudi i okoliša od kombiniranih učinaka toksičnih i/ili postojanih onečišćujućih tvari. Ova se inicijativa odnosi na ODV 2000/60/EZ i njezine dvije direktive „kćeri“: Direktivu o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja stanja 2006/118/EZ (u daljnjem tekstu DZP) i Direktivu o standardima kvalitete okoliša 2008/105/EZ (u daljnjem tekstu DSKO) koje su zajedno usmjerene na zaštitu podzemnih i površinskih voda. Tim se direktivama dopunjuje drugo relevantno zakonodavstvo o vodama, tj. Direktiva o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju (preinaka) (EU) 2020/2184, Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda Vijeća 91/271/EEZ, Okvirna direktiva o morskoj strategiji 2008/56/EZ, Direktiva o kvaliteti vode za kupanje 2006/7/EZ, Direktiva o poplavama 2007/60/EZ i Direktiva o zaštiti voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima iz poljoprivrednih izvora 91/676/EEZ. Zakonodavstvo sadržava popise onečišćujućih tvari i standarde kvalitete te njihovo redovito preispitivanje da bi zaštita od onečišćenja bila fleksibilna i odgovorila na sve veći broj novih onečišćenja. Kako bi se zaštitile cjelokupne podzemne vode, uključujući geotermalne i mineralne, ODV i DZP kompletno su prenesene u hrvatsko zakonodavstvo. Krajnji cilj ODV i DZP provođenjem programa mjera prema Planu upravljanja vodnim područjima postići je najmanje dobro stanje podzemnih voda na cjelokupnome teritoriju države. Stoga Plan upravljanja vodnim područjima sadrži pregled stanja

voda te pregled sustava praćenja, kao i mjera za upravljanje kakvoćom voda na vodnim područjima prema planskom razdoblju od 6 godina, koje su usmjerene na dostizanje ciljeva zaštite voda kako je to propisano člankom 46. Zakona o vodama (Narodne novine, br. 66/19, 84/21 i 47/23).

Podzemne vode se ocjenjuju u skladu s njihovim količinskim i kemijskim stanjem.

2. ZAKONODAVNI OKVIR EU I HRVATSKA

Direktiva 2006/118/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 12. prosinca 2006. o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja stanja (u daljnjem tekstu DZP) donesena je s ciljem zaštite podzemnih voda i sprečavanja onečišćenja podzemnih voda u Europskoj uniji. Cilj Direktive je uključiti postupke za ocjenjivanje kemijskog stanja voda, kao i mjere za smanjenje koncentracija onečišćujućih tvari.

DZP propisuje:

- mjerila za ocjenjivanje kemijskog stanja podzemnih voda (standardi kakvoće podzemnih voda - Dodatak I. i granične vrijednosti za specifične onečišćujuće tvari, skupine ili pokazatelje onečišćenja (minimalno popis iz Dodatka II.),
- postupak za ocjenjivanje kemijskog stanja podzemnih voda (Dodatak III.),
- mjerila za utvrđivanje i promjenu značajnih i trajno rastućih trendova te za utvrđivanje polaznih točaka za promjenu tih trendova (Dodatak IV.),
- sprečavanje ili ograničavanje neizravnih ispusta (nakon prodiranja kroz tlo ili podzemlje) onečišćujućih tvari u podzemne vode.

Dobro kemijsko stanje podzemnih voda smatra se kad:

- izmjerene koncentracije nitrata ne prelaze standarde kakvoće od 50 mg/l; kao i koncentracije aktivnih tvari u pesticidima uključujući njihove relevantne metabolite, produkte razgradnje i reakcije gdje je standard od 0,1 µg/l pojedinačno ili ukupno 0,5 µg/l,
- te koncentracije specifičnih onečišćujućih tvari koje moraju biti ispod graničnih vrijednosti utvrđenih od strane država članica (popis najmanje uključuje arsen, kadmij, olovo, živu, amonijak, kloride, sulfate, nitrite, fosfor (ukupan) / fosfate, sumu trikloroetilena i tetrakloretilena te električnu vodljivost (ukazuju na slane ili druge unose otopljenih minerala) i kada je koncentracija svih ostalih onečišćujućih tvari u skladu s definicijom dobrog kemijskog stanja utvrđenom u Prilogu V. Okvirne direktive o vodama.

Sadašnji zakonodavni okvir, iako propisuje standard kakvoće podzemnih voda, te niz specifičnih onečišćujućih tvari i skupina tvari kao i njihove dopuštene koncentracije, smatra se nedostatnim za zaštitu ekosustava i ljudskog zdravlja jer ne osigurava najnovije podatke i relevantne informacije o novim onečišćujućim tvarima. Direktive u području voda koje uključuje listu onečišćujućih tvari i standarda kvalitete zahtijevaju regularnu reviziju najmanje svake četiri godine prema članku 16.(4) ODV te EU komisija obnavlja i revidira standarde i onečišćujuće tvari kao i njihove granične vrijednosti koji predstavljaju rizik za ekosustave, površinske i podzemne vode. DZP prema čl. 10. ima reviziju Dodatka I. i II. svakih 6 godina. 2014. godine bila je zadnja revizija DZP, gdje se u Dodatak II. dodale dvije nove tvari i to: ukupan fosfor i nitriti. Unutar radne skupina za podzemne vode

EU zadužene za zajedničku strategiju implementacije direktive - CIS grupa, osnovana je podgrupa koja je volonterski pratila nove onečišćujuće tvari u podzemnim vodama (GW WL). Zadatak te podgrupe bio identificirati nove tvari sa pripadajućim standardima/graničnim vrijednostima prema usvojenoj Metodologiji. Kriteriji odabira onečišćujućih tvari koje će se uvrstiti u razmatranje prema postojećim monitorinzima država članica EU su njihova postojanost, mobilnost i toksičnost, te jesu li iste detektirane u najmanje četiri zemlje i na više od 10 monitoring postaja. Na temelju prijedloga te podgrupe i naposljetku CIS grupe za podzemne vode napravljen je prijedlog za reviziju Dodatka I. i II. Direktive o podzemnim vodama, odnosno ažuriranju novih onečišćujućih tvari u podzemnim vodama: farmaceutskih spojeva, nMr metabolita pesticida i PFAS tvari kao i njihovih graničnih vrijednosti.

U Hrvatskoj se ocjena kemijskog stanja provodi na temelju standarda / graničnih vrijednosti, kao i propisane metodologije iz Uredbe o standardu kakvoće voda (Narodne novine, br. 96/19, 20/23 i 50/23 - ispravak, u daljnjem tekstu Uredba). U Uredbi je kompletno implementirana DZP.

Elementi za ocjenu kemijskog stanja tijela podzemnih voda, osim mineralnih i geotermalnih voda, su:

- osnovni - električna vodljivost, otopljeni kisik, pH vrijednost, temperatura, nitrati i amonij,
- standardi kakvoće podzemnih voda: nitrati i aktivne tvari u pesticidima uključujući njihove relevantne metabolite, produkte razgradnje i reakcije i
- specifične onečišćujuće tvari.

Elementi za ocjenu kemijskog stanja mineralnih i geotermalnih voda su:

- osnovni - temperatura i električna vodljivost,
- standardi kakvoće podzemnih voda: nitrati i aktivne tvari u pesticidima uključujući njihove relevantne metabolite, produkte razgradnje i reakcije i
- specifične onečišćujuće tvari: fizikalni parametri koji upućuju na prekomjerno korištenje: promjena temperature i električne vodljivosti i umjetne sintetičke tvari: suma trikloretilena i tetrakloretilena.

3. NOVE ONEČIŠĆUJUĆE TVARI

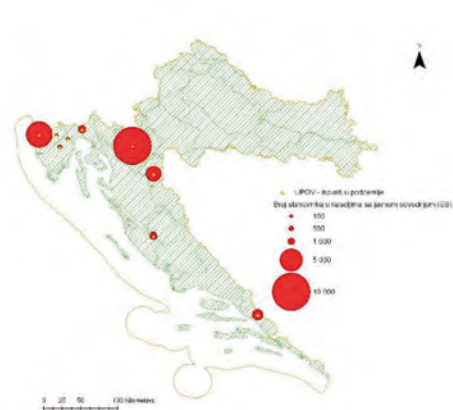
Najnovija tehnološka dostignuća omogućuju da se danas u podzemnim vodama prate tvari koje donedavno je bilo nemoguće određivati zbog ograničenja analitičkih metoda. Riječ je o novim onečišćujućim tvarima. Brojna su tumačenja i definicije ovog izraza, a danas se pod njim podrazumijevaju spojevi za koje se ranije nije smatralo ili znalo da su značajni u podzemnim vodama, a koji se u novije vrijeme naveliko otkrivaju te se zna ili sumnja da mogu uzrokovati štetne učinke na ekosustave i ljudsko zdravlje (Stuart, 2012). Izraz se ne odnosi samo na nove onečišćivače, nego i na spojeve koji su, najčešće uslijed razvoja tehnoloških mogućnosti, novootkriveni u okolišu (Lindsey i dr., 2001). Onečišćenje podzemnih voda novim onečišćivačima stvara sve veću zabrinutost i relativno je slabo istražena u usporedbi s površinskim vodama (Lapworth, 2012). Općenito, koncentracije novih onečišćivača veće su u površinskim nego u podzemnim vodama zbog procesa kojima su izloženi, kao što su adsorpcija, razrjeđenje i razgradnja. Brojnim istraživanjima (Eckel et al., 1993; Holm et al., 1995; Ahel et al., 1998; Ahel and

Jelicic 2000, Barnes et al., 2004 and Buszka et al., 2009) pratio se utjecaj odlagališta otpada utvrđeno je kako se količine novih onečišćivača u podzemnim vodama kreću u značajnim koncentracijama, u rasponu od 10 - 104 ng/L. Koncentracije < 100 ng/L smatraju se preniskima da bi imale akutni utjecaj, no međudjelovanje više spojeva i dugotrajna izloženost njima su zbog nedovoljne istraženosti još uvijek nepoznanica (Lapworth, 2012). Novi onečišćivači obuhvaćaju široku paletu spojeva kao što su pesticidi, farmaceutici, proizvodi za osobnu njegu, industrijski aditivi i njihovi nusprodukti, dodaci hrani, nusprodukti tretiranja vode, surfaktanti, hormoni i dr. Među najčešće utvrđenim spojevima su poljoprivredni spojevi, farmaceutici i PFAS - perfluoralkilne i polifluoralkilne tvari. PFAS su velika skupina koju čini više od 4.700 sintetičkih kemikalija čije su primjena u društvu i pojavnost u prirodi jako raširene. Prema podacima Europske agencije za kemikalije (ECHA) sve kemikalije iz te skupine sadržavaju veze ugljika i fluora, jednu od najsnažnijih kemijskih veza u organskoj kemiji, koja im omogućava da budu otporne na razgradnju pri uporabi i u okolišu. Nazivaju ih i „vječnim kemikalijama“ jer su iznimno postojane u okolišu i ljudskim tijelima. Koristi ih se u desecima tisuća proizvoda i strojeva, uključujući automobile, tekstil, medicinsku opremu, vjetroelektrane i kuhinjske tave s neprijanjajućim premazom jer su otporne na visoke temperature i koroziju. Većina kemikalija iz skupine PFAS lako se prenosi okolišem i prelazi velike udaljenosti u odnosu na izvor ispuštanja. Onečišćenja PFAS tvarima često se pronalaze u podzemnim vodama, površinskim vodama i tlu. Čišćenje kontaminiranih područja tehnički je zahtjevno i skupo. Ako se ispuštanje PFAS tvari nastavi te kemikalije i dalje će se akumulirati u okolišu, pitkoj vodi i hrani.

Iako je onečišćenje okoliša poljoprivrednim spojevima i farmaceuticima dobro poznata činjenica, manje je poznato kako su mnogi pesticidi ili lijekovi spojevi koji u svojoj strukturi sadrže spektar mogućih produkata razgradnje, s potencijalno štetnim ili jednostavno nepoznatim svojstvima. Pod utjecajem svjetla ili prilikom kemijske obrade otpadnih voda mnogi se lijekovi transformiraju u nove strukture o kojima znanost vrlo malo zna (Vrček, 2017).

Izvori onečišćenja možemo podijeliti prema porijeklu na stanovništvo, poljoprivredu i industriju. Najveći broj onečišćivača dolazi iz otpadnih voda i to uređaja za pročišćavanja sa direktnim ispustom u podzemlje (slika 1), septičkih jama, bolnica, odlagališta (slika 2), te poljoprivrede - potrošnja pesticida (slika 3) od farma do poljoprivrednih površina sa uporabom raznih gnojiva kao i raznih pripravaka za zaštitu bilja (pesticida, herbicida, fungicida), te otpadnih voda industrija (slika 4). Put onečišćujućih tvari ovisno o hidrogeološkim karakteristikama vodonosnika ovisno dali se radi o krškom ili aluvijalnom vodonosniku, ovisi o propusnosti, transmisivnosti, debljini krovinskih naslaga, brzini toka podzemnih voda, nagibu terena i sl. kao i indirektnom ili direktnom ispuštanju u podzemne vode te karakteristikama samih onečišćujućih tvari, kao i prihranjivanju vodonosnika ako se radi o vezi između površinskih i podzemnih voda.

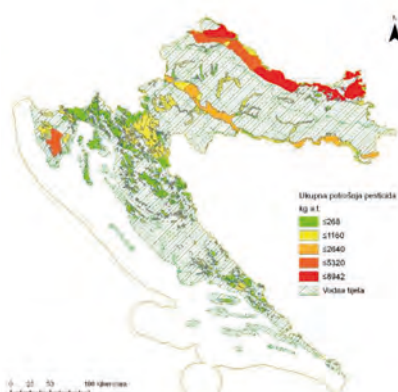
Podzemne vode u aluvijalnim vodonosnicima izuzetno su osjetljive na onečišćenje, jednom onečišćene mogu akumulirati onečišćenje kroz dugačak period zbog spore dinamike i obnavljanja. Možemo slobodno reći da podzemne vode imaju dugačku memoriju onečišćenja u aluvijalnim vodonosnicima za razliku od krških, što znači da onečišćenje koje se dogodilo u prošlosti se može evidentirati tek sada. Stoga je onečišćenje podzemnih voda izuzetno opasno.



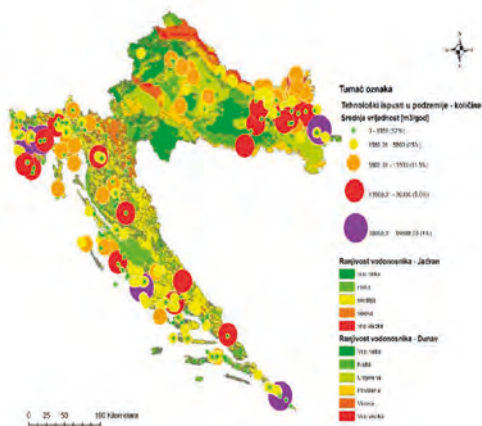
Slika 1. Uređaji za pročišćavanje s direktnim ispuštom u podzemlje



Slika 2. Odlagališta



Slika 3. Poljoprivreda - potrošnja pesticida



Slika 4. Industrija

4. PRIJEDLOG ZA PROMJENE DIREKTIVE O PODZEMNIM VODAMA

Direktive se ažuriraju i provjeravaju od strane EU komisije upravo zbog sve većih novih onečišćenja, a time i onečišćujućih tvari. Stoga je zaključeno da se kroz ODV, DZPV i DSKO ažuriraju popisi novih onečišćujućih tvari, a zaključeno je i da bi se drugim poboljšanjima zakonodavstva povećale njihova djelotvornost, učinkovitost i usklađenost. Uzimajući u obzir opći cilj vodne politike EU-a, opći su ciljevi ove inicijative:

- (1) povećati zaštitu građana i prirodnih ekosustava EU-a u skladu sa strategijom za bioraznolikost i akcijskim planom za postizanje nulte stope onečišćenja, koji su dio europskog zelenog plana,
- (2) povećati učinkovitost i smanjiti administrativno opterećenje zakonodavstva kako bi EU mogao brže odgovoriti na nove rizike.

Stoga je napravljen prijedlog za ažuriranje, izmjenu i dopunu DZPV. Prijedlog je usvojen od Europske komisije kao dio Akcijskog plana Zero Pollution u 2022. godini. Prijedlog DZPV koji obuhvaća ažuriranje novih onečišćujućih tvari se još uvijek razmatra sa državama članicama prema protokolu o donošenju izmjena Direktiva. Prema prijedlogu izmjena i dopuna Direktive o podzemnim vodama u Dodatak I. (uz postojeće predlaže se dodavanje novih onečišćujućih tvari i njihovih standarda i to:

- 24 tvari iz skupine perfluoralkilnih i polifluoroalkilnih tvari (PFAS) njihova suma od 0,0044 µg/l,
- dva farmaceutika (Karbamazepin (0,25 µg/l) i Sulfametoksazol (0,01 µg/l)) i ukupno aktivne tvari farmaceutika (0,25 µg/l), te
- ne - relevantni metaboliti pesticida (nrMS; 0,1/1/2,5 ili 5 µg/l),
- te promjene u dijelu B dodaju se minimalnom popisu umjetnih sintetičkih tvari trikloretilen i tetrakloreten pojedinačno (koji se dosad pratio kroz sumu tih tvari) doda se nova tvar primadon,
- u dijelu C informacije koje moraju dostaviti države članice u vezi s novim onečišćujućim tvarima i njihovim pokazateljima za koje su države članice utvrdile granične vrijednosti,
- u dijelu D, uvrštena je posebno granična vrijednost sume trikloetiela i tetrakloretena od 10 µg/l na nivou EU.

Također se predlažu i tekstualne izmjene direktive u vidu popisa liste novih onečišćujućih tvari te njihovog monitoringa koja bi bila obavezna za sve države članice EU, a ne kao dosad volonterska. Te izmjene rokova kad se uspostavi popis novih onečišćujućih tvari države članice su dužne ga pratiti tijekom razdoblja od 24 mjeseca. Razdoblje početka praćenja počinje 6 mjeseci nakon uspostave popisa s time da se liste novih onečišćujućih tvari ažuriraju svakih 36 mjeseci.

5. ISTRAŽIVANJE I PRAĆENJE NOVIH ONEČIŠĆUJUĆIH TVARI U HRVATSKOJ

Republika Hrvatska podupire rad CIS grupe za podzemne vode te ravnopravno i aktivno sudjeluje u njenom radu. Hrvatska je, do sada, izvršila sve obveze koje proizlaze iz provedbe Direktive o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja kakvoće (DZP). Provela je izvješćivanje za podzemna vodna tijela, stanje podzemnih vodnih tijela, kao i podzemnih vodnih tijela koja su u riziku u Planu upravljanja vodnim područjima od 2022. do 2027., te poslala podatke o istome EK putem Europskog informacijskog sustava za vode (*Water Information System for Europe - WISE*).

U okviru dosadašnjeg monitoringa Hrvatska nema informacija o 24 tvari iz skupine perfluoralkilnih i polifluoroalkilnih tvari (PFAS), od farmaceutskim spojevima u podzemnim vodama ispitivan je samo sulfametoksazol do 2021. U programu višegodišnjeg monito-

ringa od 2022. do 2024. godine pratit će se oba spoja: sulfametoksazol i karbamazepin na 5 mjernih postaja uz dodatnih pet farmaceutskih spojeva. Hrvatska još ne provodi praćenje ne-relevantnih metabolita. Relevantnost metabolita se definira na razini EU, prilikom ocjene aktivnih tvari ili potvrdnih podataka za aktivne tvari. Prilikom ocjene na nacionalnoj razini sredstava za zaštitu bilja iz područja ponašanja u okolišu računaju se Predviđene koncentracije aktivnih tvari i metabolita u podzemnim vodama (PECgw izračuni), i na temelju tih izračuna se predlaže ili ne predlaže registracija sredstva Ministarstvu poljoprivrede. Kako bi se pokazali sigurni uvjeti uporabe, PECgw vrijednost mora biti ispod 0,1 $\mu\text{g/l}$ za aktivne tvari i relevantne metabolite. Za nerelevantne metabolite PECgw vrijednosti u rasponu od 0.75 do 10 $\mu\text{g/l}$ se smatraju prihvatljivim u odnosu na njihov toksikološki profil. Upitnik za identifikaciju ne - relevantnih metabolita od strane Hrvatske je izrađen unutar CIS radne skupine za podzemne vode prema preporukama Ministarstva poljoprivrede koje su pak slijedile tehnički vodič „Guidance Document on the Assessment of the Relevance of Metabolites in Groundwater of Substances Regulated under Council Directive 91/414/EEC. Sanco/221/2000 rev.10-final, 25 February 2003” korišten za reulaciju (EC 1107(2009)). Ne - relevantne metabolite pesticide koji su štetni za ljudsko zdravlje i njihovu determinaciju određuje Zavod za javno zdravstvo. Za sada još postoje preporuke, nije utvrđena lista ne - relevantnih metabolita u Hrvatskoj. Monitoring za ove nove onečišćujuće tvari iziskuje značajna financijska sredstva. Prema sadašnjem vremenskom okviru Prijedlog izmjene i dopune Direktive trebao bi stupiti na snagu tijekom 2024. godine. Hrvatska mora prvo provesti istražni program za nove tvari na mjestima gdje bi se očekivale prema karakteristikama vodonosnika, odnosno na mjestima gdje su podzemne i površinske vode u kontaktu te u području vrlo visoke i visoke ranjivosti vodonosnika, kao i prema istraživačkom provedenom monitoringu za tvari koje su već nađene prvenstveno u površinskim vodama. Na osnovu pritisaka koji bi bili uzrok novim onečišćujućim tvarima koji su izračunati za potrebe Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. godine od potrošnje pesticida iz poljoprivrede i korištenju pesticida za zaštitu željeznica, s obzirom na njihovu detekciju, vezani su i metaboliti pesticida. Podaci o uporabi pesticida u poljoprivredi (slika 5) u 2019. godini. korišteni su za ocjenu hazarda prema studiji Agronomskog fakulteta „Određivanje prioritetnih područja motrenja podzemnih voda unutar intenzivnog poljoprivrednog prostora“, a kao podloga je uzeta vrlo visoka i visoka karta ranjivosti krških i panonskih vodonosnika te ukupna ocjena stanja za svako tijelo podzemnih voda. Tako je napravljena i karta onečišćenja od željeznice (slika 6) na temelju podataka o količinama pesticida korištenih za zaštitu željezničke infrastrukture u kombinaciji sa kartama ranjivosti vodonosnika. Isti princip procjena rizika od nepostizanja dobrog kemijskog stanja tijela podzemnih voda uslijed opterećenja od tehnoloških ispusta u podzemlje (slika 7) i odlagališta (slika 8). Područja visokog rizika označena su crvenom bojom i tu bi se postavio prvenstveno istraživački monitoring novih onečišćujućih tvari, nerelevantni metaboliti pesticida u području visokog rizika od poljoprivrede i korištenja sredstva za održavanje željezničkih pruga, farmaceutskih tvari u području farmaceutske industrije i tehnoloških ispusta u podzemlje, kako i uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i odlagališta te PFAS tvari, u području rizika prvenstveno odlagališta, tehnoloških ispusta u podzemlje te također uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.



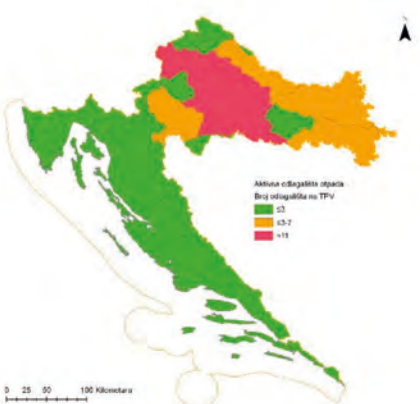
Slika 5. Poljoprivreda (pesticidi)



Slika 6. Željeznica (sredstva za zaštitu bilja)

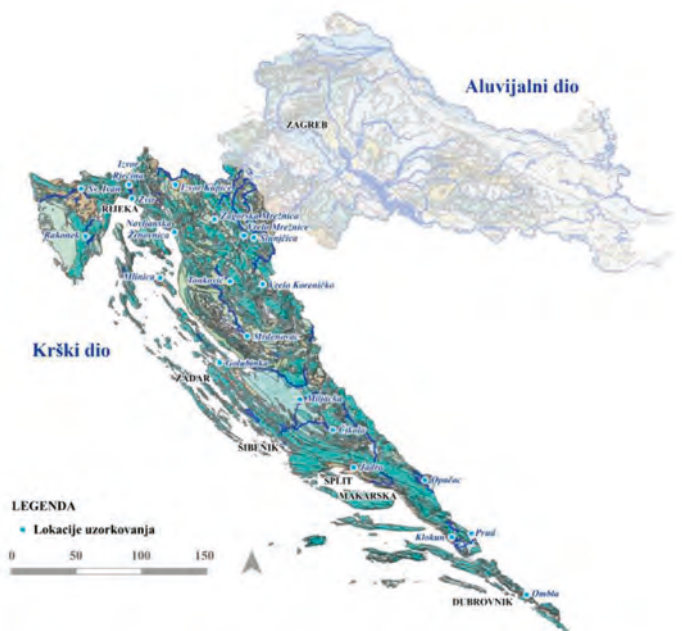


Slika 7. Tehnološki ispusti u podzemlje



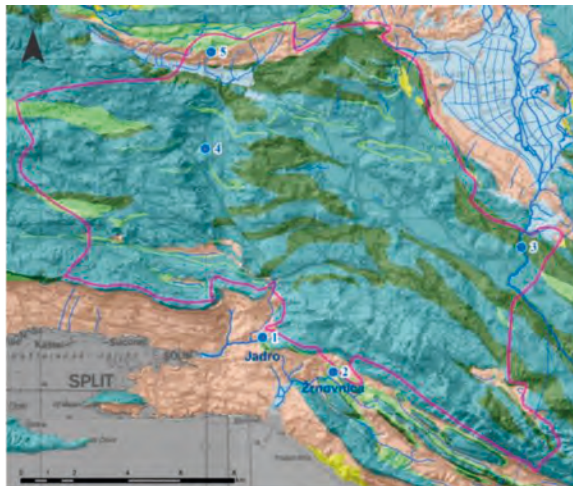
Slika 8. Odlagališta

Hrvatski geološki institut sudjelovao je na dva međunarodna projekta vezana uz praćenje novih onečišćujućih tvari u podzemnim vodama koja su u manjoj mjeri u površinskim vodama i to: projekt GeoTwinn (Strengthening research in the Croatian Geological Survey, Geoscience - Twinning to develop state-of-the-art subsurface modelling capability and scientific impact, Horizon 2020). U fokusu jednog radnog paketa tog projekta bilo je upravo napredno modeliranje podzemnog toka i transporta novih onečišćujućih tvari. Za pokusno područje odabrao je krško područje Hrvatske, na kojem su se u uvjetima hidroloških maksimuma i minimuma uzrokovali izvori koji sudjeluju u vodoopskrbi. Projekt je trajao od 2018. do 2021. godine.



Slika 9. Lokacije uzorkovanja izvora u sklopu GeoTwin projekta (Hrvatski geološki institut)

Europski projekt boDEREC - CE (Board for Detection and Assessment of Pharmaceutical Drug Residues in Drinking Water - Capacity Building for Water Management in CE). Glavni cilj projekta bio je razvoj integriranog upravljanja sustavima vodoopskrbe te preporuka za unaprjeđenje postojećih regulativa i standarda za otpadne vode i vode za piće. Tijekom trogodišnjih istraživanja unutar projekta provela su se sveobuhvatna istraživanja pojave, utjecaja i transporta novih onečišćujućih tvari iz skupine farmaceutika u podzemnim i površinskim vodama odabranih pilot područja zemalja partnera iz centralne Europe. U Hrvatskoj je odabrano pokusno područje slijeva izvora Jadro i Žrnovnica (Slika 10), a u suradnji s kolegama iz Slovenije na području Hrvatske uzorkovanja su provedena i u površinskom toku rijeke Save.



Slika 10. Pokusno područje u Hrvatskoj s lokacijama uzorkovanja - slijev izvora Jadro i Žrnovnica (Hrvatski geološki Institut)

ZAKLJUČAK

Kvaliteta podzemnih voda u velikom dijelu Republike Hrvatske je u dobrom stanju. U novije vrijeme sve veći zahtjevi za vodom, te sve veći pritisci uslijed razvoja gospodarstva i novih tehnologija uzrokuju porast novih onečišćujućih tvari. Razvoj novih tehnologija omogućio je i praćenje velikog broja novih onečišćujućih tvari. Od potencijalnih onečišćujućih tvari potrebno je identificirati one tvari koje se značajne i nepovoljno se odražavaju na okoliš i ljudsko zdravlje. Međunarodna suradnja i nastojanja stručnjaka u okviru Direktiva na području EU i kroz zakonodavne akte zemalja članica, te raznih međunarodnih projekata korak su prema zaštiti podzemnih voda. Prije provedbe istraživačkih monitoringa za nove onečišćujuće tvari na razini cijele EU postoji potreba je jasnijeg određivanja standarda parametara za koje nisu razvijene analitičke metode (granice detekcije za određivanja od spomenutih komponenti tvari). Potreba je jedinstvenih kriterija (na razini EU) za utvrđivanje: relevantnosti metabolita, regulatornih indikacija relevantnosti metabolita, farmaceutskih aktivnih tvari, te načina njihove identifikacije i procjene rizika. Budući da više od 90 % javne vodoopskrbe u Hrvatskoj koristi podzemne vode, Republika Hrvatska je svakako zainteresirana za uspostavu jasne poveznice (mogućnost usporedbe i optimalizacije monitoringa) između standarda propisanih ovom direktivom i standarda propisanih Direktivom (EU) 2020/2184 o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju.

LITERATURA

- [1] Agronomski fakultet (2019): Studija „Određivanje prioriternih područja motrenja podzemnih voda unutar intenzivnog poljoprivrednog prostora“, Zagreb
- [2] Akcijski plan Zero Polution
- [3] Direktiva o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja stanja 2006/118/EZ
- [4] Direktiva o standardima kvalitete okoliša 2008/105/EZ
- [5] Direktiva o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju (preinaka) (EU) 2020/2184
- [6] Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda Vijeća 91/271/EEZ
- [7] Direktiva o kvaliteti vode za kupanje 2006/7/EZ
- [8] Direktiva o poplavama 2007/60/EZ
- [9] Direktiva o zaštiti voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima iz poljoprivrednih izvora 91/676/EEZ
- [10] Okvirna direktiva o vodama 2000/60/EZ
- [11] Okvirna direktiva o morskoj strategiji 2008/56/EZ
- [12] Plan upravljanja vodnim područjima do 2027. (Narodne novine, broj 84/23)
- [13] Ahel, M., Mikac, N., Cosovic, B., Prohic, E., Soukup, V. (1998): *The impact of contamination from a municipal solid waste landfill (Zagreb, Croatia) on underlying soil*. Water Science and Technology 37, 203–210.
- [14] Barnes, K. K., Christenson, S. C., Koplín, D. W.; Focazio, M., Furlong, E. T., Zaugg, S. D., Meyer, M. T., Barber, L. B. (2004): *Pharmaceuticals and other organic waste water contaminants within a leachate plume down gradient of a municipal landfill*. Ground Water Monitoring and Remediation 24, 119-126.
- [15] Buszka, P. M., Yeskis, D. J., Kolpin, D. W., Furlong, E. T., Zaugg, S. D., Meyer M. T., (2009): *Waste - Indicator and Pharmaceutical Compounds in Landfill - Leachate - Affected Ground Water near Elkhart*, Indiana, 2000-2002. Bulletin of Environ Contamination and Toxicology 82, 653-659.
- [16] Eckel, W.P., Ross, B., Isensee, R.K. (1993): *Pentobarbital found in ground water*. Ground
- [17] Holm, J.V., Rügge, K., Bjerg, P.L., Christensen, H. (1995): *Occurrence and distribution of pharmaceutical organic compounds in the groundwater downgradient of a landfill (Grindsted, Denmark)*. Environmental Science and Technology 28, 1.415-1.420.
- [18] Lapworth, D. J., Baran, N., Stuart, M. E. & Ward, R. S. (2012): *Emerging organic contaminants in groundwater: A review of sources, fate and occurrence*. Environmental Pollution, 163, 287– 303. doi:10.1016/j.envpol.2011.12.034.
- [19] Lapworth, D. J. (2018): *Emerging Contaminants in Groundwater*. Presentation held within Geo - Twin project, Croatia.

- [20] Lindsey, M.E., Meyer, M. & Thurman, E.M. (2001): *Analysis of trace levels of sulfamide and tetracycline antimicrobials in groundwater and surface water using solidphase extraction and liquid chromatography / mass spectroscopy*. Analytical Chemistry 73, 4640-4646.
- [21] Lukač Reberski, J., Terzić, J., Selak, A. i Boljat, I. (2019): „Novi onečišćivači“ u podzemnim vodama Hrvatske - primjer projekata GeoTwinn i boDEREC-CE, 7. Hrvatska konferencija o vodama
- [22] Stuart, M., Lapworth, D., Crane, E. & Hart, A. (2012): Review of risk from potential emerging contaminants in UK groundwater. Science of The Total Environment, 416, 1-21. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.11.072. Tehnički vodič “Guidance Document on the Assessment of the Relevance of Metabolites in Groundwater of Substances Regulated under Council Directive 91/414/EEC. Sanco/221/2000 rev.10-final, 2003
- [23] Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o standardu kakvoće voda (Narodne novine, broj 20/23)
- [24] Vrčec, V. (2017): *Farmakoekologija - okolišna sudbina lijekova*, Kem. Ind. 66 (3-4), 135-144
- [25] Zakon o vodama (Narodne novine, br. 66/19, 84/21 i 47/23)

AUTORI

mr. sc. Daria Čupić, dipl. ing. geol. ^a

mr. sc. Alena Vlašić, dipl. ing. bioteh. ^a

doc. dr. sc. Siniša Širac, dipl. ing. kem. ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska,
daria.cupic@voda.hr, alena.vlasic@voda.hr, sinisa.sirac@voda.hr



R 4.13.

SUSTAV IZVJEŠTAVANJA O KVALITETI VODE U REPUBLICI HRVATSKOJ EUROPSKOJ KOMISIJI

Damir Tomas

SAŽETAK: Republika Hrvatska, kao članica Europske unije, dužna je pridržavati se direktiva Europske komisije, uključujući i onih koje se tiču kvalitete i stanja vodnih resursa, kako bi se osigurala održivost vodnih ekosustava i ispunili europski ciljevi o kvaliteti vode. Ovaj rad proučava potrebe i specifičnosti izvještavanja Europske komisije o stanju voda u Republici Hrvatskoj. Analizirale su se osnove, struktura, uloga i doprinos Europske informacijske i promatračke mreže za okoliš (EIONET) u promicanju očuvanja okoliša i održivog razvoja u Europi. Prikazani su zahtjevi Europske komisije za modele izvješćivanja o stanju površinskih i podzemnih voda, kao i kvalitete vode namijenjene za ljudsku potrošnju. Poseban naglasak stavljen je na potrebu za razvojem i primjenom adekvatnog monitoringa, prikupljanjem relevantnih podataka i izradom kvalitetnih izvještaja.

KLJUČNE RIJEČI: EU izvještaj, EIONET, Površinska voda, Podzemna voda, Voda namijenjena za ljudsku potrošnju

REPORTING SYSTEM ON WATER QUALITY IN THE REPUBLIC OF CROATIA TO EUROPEAN COMMISSION

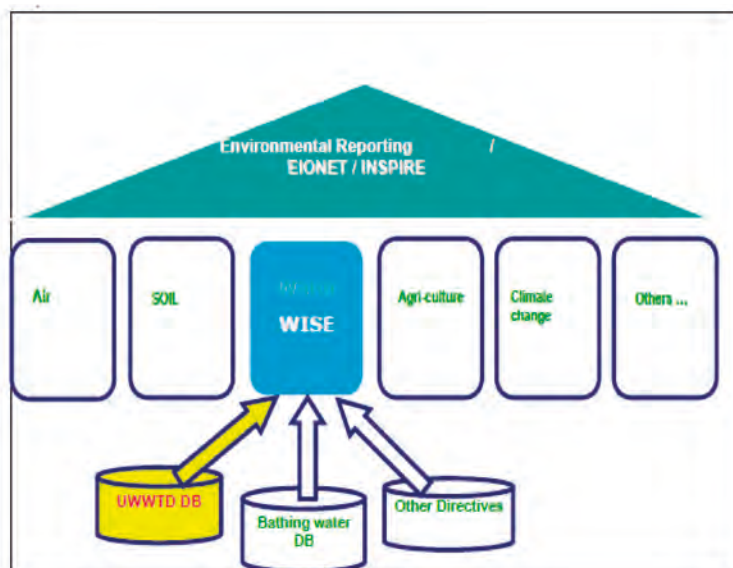
ABSTRACT: Republic of Croatia, as a member of the European Union, is obliged to comply with the directives of the European Commission, including those concerning the quality and status of water resources, in order to ensure the sustainability of water ecosystems and meet European water quality goals. This paper examines the needs and specifics of reporting to the European Commission on the water status in the Republic of Croatia. The basics, structure, role and contribution of the European Environment Information and Observation Network (EIONET) in promoting environmental protection and sustainable development in Europe were analysed. The requirements of the European Commission for models reporting on the status of surface waters and groundwater, as well as the quality of water intended for human consumption are presented. A special emphasis was placed on the need for the development and application of adequate monitoring, the collection of relevant data and the preparation of quality reports.

KEYWORDS: EU report, EIONET, Surface water, Groundwater, Water intended for human consumption

1. UVOD

Voda je neophodna za život, a time i za naše društvo i gospodarstvo. Održivo upravljanje vodama imaće važnu ulogu u omogućavanju čovječanstvu da se prilagodi promijenjenom okolišu te će pomoći da se izbjegne porast globalne temperature veći od 1,5 °C. Upravljanje tim vitalnim resursom zahtijeva, više nego ikad, istinski integriran pristup kojim se uzima u obzir okolišna, društvena, gospodarska i zdravstvena dimenzija (Carvalho i sur., 2019). Republika Hrvatska, kao članica Europske unije (EU) od 2013. godine, obvezna je redovito izvještavati Europsku komisiju o stanju svojih vodnih resursa. Izvješćivanje se temelji na brojnim EU direktivama, kao što su Direktiva o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju (eng. Directive on the quality of water intended for human consumption, ili Drinking Water Directive, DWD), Okvirna direktiva o vodama (ODV, eng. Water Framework Directive), Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (eng. Council Directive 91/271/EEC concerning urban waste water treatment ili The Urban Waste Water Treatment Directive, UWWTD).

Europska informacijska i promatračka mreža za okoliš ili EIONET (eng. European Environment Information and Observation Network) predstavlja ključnu komponentu Europske agencije za okoliš ili EEA (eng. European Environmental Agency) i Europske komisije te predstavlja ključni pravni okvir Europske unije za upravljanje i zaštitu vodnih resursa. EIONET je mreža koja okuplja različite nacionalne agencije, institucije i organizacije iz država članica Europske unije. Ova mreža omogućava prikupljanje, razmjenu i upotrebu podataka i informacija o okolišu u Europi, kako bi se potaknulo održivo upravljanje okolišem i donošenje pravovaljanih političkih odluka (slika 1).



Slika 1. Shematski prikaz EIONET-a (izvor: <http://water.europa.eu>)

EEA je agencija Europske Unije čija je zadaća pružati utemeljene i neovisne informacije o okolišu. Ona je glavni izvor informacija za sve one koji su uključeni u raz-

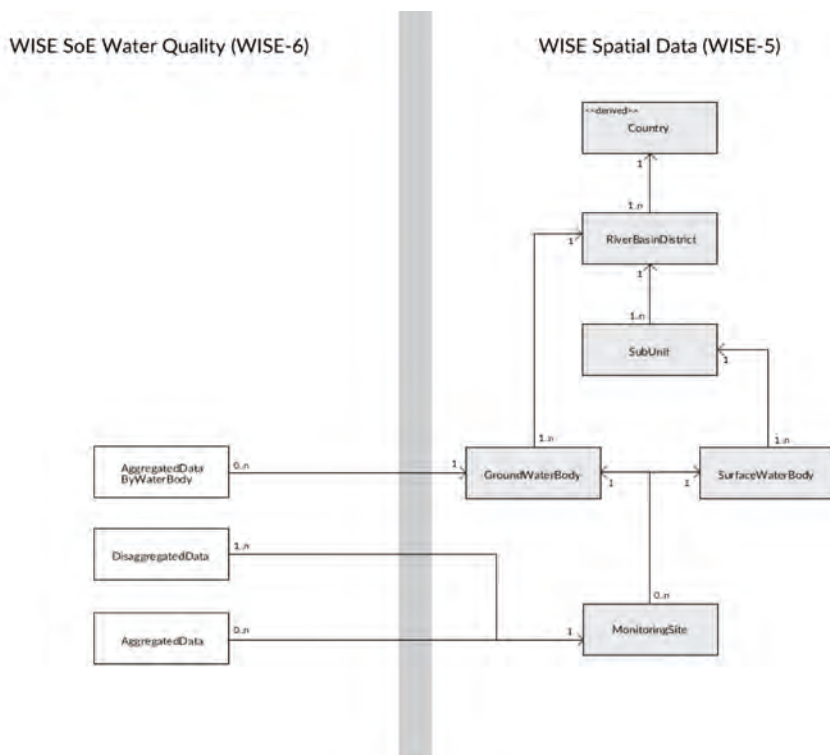
voj, donošenje, provedbu i ocjenjivanje politike okoliša, ali i za širu javnost. Djelokrug poslova EEA uključuje pomoć zemljama Europske unije u donošenju boljih odluka za poboljšanje okoliša, postizanje održivosti te pitanja povezanih s okolišem, a njeni glavni korisnici su Europska komisija (EK), Europski parlament, Vijeće EU i druge institucije EU-a, vlade zemalja članica, nevladine organizacije, znanstvene i akademske zajednice, poslovne organizacije te šira javnost (European Environment Agency, 2020). Za uspješno izvještavanje o kvaliteti vode, države članice moraju uspostaviti robusne sustave nadzora, analize i izvješćivanja. Integracija ovih informacija u nacionalne strategije i planove upravljanja ključna je za očuvanje i poboljšanje kvalitete vode u skladu s europskim standardima. Ovi izvještaji često su dostupni javnosti kako bi se osigurala transparentnost i sudjelovanje građana u zaštiti vode i okoliša. EIONET je važna mreža jer uključuje 300 centara (stručnih tijela, javnih ustanova, istraživačkih centara, agencija) diljem država članica koji osiguravaju podatke neophodne za rad EEA (Vidović, 2010). Republika Hrvatska, kao članica EU, obavezna je redovito izvještavati o kvaliteti svojih vodnih resursa.

2. IZVJEŠTAVANJE O STANJU POVRŠINSKIH I PODZEMNIH VODA

Izvještavanje o kvaliteti podzemnih i površinskih voda Europskoj komisiji je obavezno za države članice Europske unije (EU) u skladu s Okvirnom direktivom o vodi. Okvirna direktiva o vodi (2000/60/EZ) je ključni instrument politike voda EU, čiji je cilj postići dobro stanje svih vodnih tijela unutar EU, pri čemu države članice moraju odrediti status svih površinskih i podzemnih vodnih tijela na svom teritoriju (Direktiva 2000/60/EZ). Ključni korak u izvještavanju o stanju voda je sustavni monitoring površinskih i podzemnih voda. Podaci se prikupljaju na temelju redovitog monitoringa pokazatelja, te se analizirani izvješćuju Europskoj komisiji. Republika Hrvatska šalje godišnje izvješće o stanju voda, koje se podnosi u skladu s rokovima propisanim ODV. Izvješće mora biti detaljno, točno i transparentno, kako bi se osiguralo da Europska komisija ima pravilan uvid u stanje voda. Na temelju programa praćenja, Europska komisija se jednom godišnje izvještava o statusu i kvaliteti svih vodnih tijela. U Registru vodnih tijela je svakom vodnom tijelu pridružen jednoznačni nacionalni kod. Informacije o kvaliteti vode učitaju se u Europski informacijski sustav za vode (eng. Water Information System for Europe, WISE) kojim upravlja EEA. WISE je integrirana informacijska služba za upravljanje vodama na razini EU. Prilikom dostavljanja podataka u WISE sustav, na početku nacionalnog koda se dodaje jedinstvena oznaka države, u ovom slučaju HR. WISE SoE - Water Quality in Inland, Coastal and Marine waters (WISE-6) izvješćivanje o kvaliteti kopnenih i priobalnih voda i mora uvedeno je 2019. godine i u potpunosti je zamijenilo WISE-4 izvješćivanje o kvaliteti vode u 2020. godini. WISE-6 ima sličnu strukturu kao WISE-4, ali također omogućuje izvješćivanje o koncentracijama pokazatelja u matricama kao što su biota i sediment, uz poboljšane performanse i bolje opcije za povratne informacije o izvješćenim podacima (European, Environment Agency, 2020). Mjerne postaje su šifrirane i prethodno prijavljene kao EIONET postaje u WISE sustavu kao i vodna tijela. Ukoliko postaja nije prethodno prijavljena neće biti moguće poslati podatke.

Na slici 2 prikazan je izvještajni model te njegova poveznica sa prostornim podacima (WISE-5). Šifrirane mjerne postaje se moraju podudarati s prethodno prijavljenim prostornim podacima koji se izvješćuju u sklopu izvještaja o Planu upravljanja vodnim

područjima. Izvještava se o kvaliteti vode u rijekama, jezerima, prijelaznim i podzemnim vodama te uključuje podatke o hranjivim tvarima, organskim tvarima, klorofilu-a, opasnim tvarima i općim fizikalno - kemijskim parametrima u vodi, sedimentu i bioti. Svi pokazatelji koji se moraju izvijestiti su pohranjeni u centralnom šifrniku pokazatelja EIONET-a i označeni su CAS (eng. Chemical Abstracts Service) brojevima. Samo osobe koje su ovlaštene od strane nacionalnih tijela (eng. National Focal Point) mogu dostaviti podatke u Centralno spremište podataka (eng. Central Data Repository, CDR).



Slika 2. WISE-6 izvještajni model

U predložak tablice unose se neobrađeni podaci (eng. Disaggregated Data) te su za 2021. godinu popunjena 78767 redova, što predstavlja iznimno kompleksan i zahtjevan zadatak zbog provjera rezultata prije konačnog slanja. EU izvještaj, osim „sirovih“ podataka, zahtijeva i unos informacija, o vrsti vode, granicama kvantifikacije i matriksu uzorka. Nakon završenog postupka unosa svih traženih podataka, WISE sustav pokreće automatski sustav kontrole koristeći se internim algoritmima kojim se provjerava ispravnost svih podataka, kao primjerice podudarnost šifri mjernih postaja i jesu li mjerne postaje pravilno prethodno prijavljene u EIONET (primjerice rijeka, jezero ili priobalna voda) (slika 3).

Overview Edit properties History Data quality

WISE SoE - Water Quality 2015

Description Water Quality data sampled in 2013 - 2014 and provided within the WISE SoE reporting period 2015

Obligations [WISE SoE - Water Quality \(WISE-t\)](#)

Period 2013 to 2014

Coverage Czech Republic

Status Task(s) waiting to be assigned [Activate task: Draft](#) (Draft delivery)
The last AutomaticQA run has flagged this envelope as unfit for release.

Note
 If you want to stay updated about events in this envelope [Subscribe to receive notifications](#) for this country and the current dataflow(s).

Files in this envelope

File Name	Size	Created	Modified
1 TestFile1.xls	(Limited)	19 Nov 2015	47.5 KB
2 TestFile1_AggregatedData.xml	(Limited)	19 Nov 2015	5.92 KB
3 TestFile1_AggregatedDataByWaterBody.xml	(Limited)	19 Nov 2015	20.8 KB
4 TestFile1_DisaggregatedData.xml	(Limited)	19 Nov 2015	3.81 KB

Remember to release the envelope when you have uploaded all files

Feedback for this envelope

- Conversion log for file TestFile1.xls (Posted automatically on 19 Nov 2015)
- AutomaticQA result for file_TestFile1_DisaggregatedData.xml_wise-soe-2015-da-water-quality-tbl-disaggregated-data** (Posted automatically on 19 Nov 2015)
- BLOCKER! AutomaticQA result for file_TestFile1_AggregatedDataByWaterBody.xml_wise-soe-2015-da-water-quality-tbl-aggregated-data-by-water-body (Posted automatically on 19 Nov 2015)
- BLOCKER! AutomaticQA result for file_TestFile1_AggregatedData.xml_wise-soe-2015-da-water-quality-tbl-aggregated-data (Posted automatically on 19 Nov 2015)
- AutomaticQA result for WISE-SoE Water Quality envelope (Posted automatically on 19 Nov 2015)

Slika 3. Prikaz ekrana kontrole sustava

Završenim postupkom kontrole sustav automatski javlja koje su ispravke potrebne kroz BLOCKER-e i ERROR-e (slika 4) te se nakon ispravljenih grešaka izvještaj može poslati u EIONET.

The following tests we performed against the table: **WISE SoE - Water Quality / Sample data by monitoring site**

- 1. Mandatory values test - **BLOCKER**
- 2. Record uniqueness test - OK
- 3. Data types test - OK
- 4. Valid codes test - OK
- 5. Monitoring site identifier format test - **BLOCKER**
- 6. Monitoring site identifier reference test - **WARNING**
- 7. Unit of measure test - **BLOCKER**
- 8. Sampling date test - OK
- 9. Observed value limits test - OK
- 10. LOQ test - OK
- 11. Sample depth test - OK

1. Mandatory values test

Tested the presence of mandatory values - monitoringSiteIdentifier, monitoringSiteIdentifierScheme, parameterWaterBodyCategory, observedPropertyDeterminandCode, procedureAnalysedFraction, procedureAnalysedMedia, resultUom, phenomenonTimeSamplingDate, resultObservedValue, resultQualityObservedValueBelowLOQ. Missing resultObservedValue can be explained by using an appropriate flag in the resultObservationStatus field.

BLOCKER - some mandatory values are missing

1 records detected.

Element name	Number of records detected
resultUom	1

Show all records

Slika 4. Prikaz ekrana prijavljenih grešaka

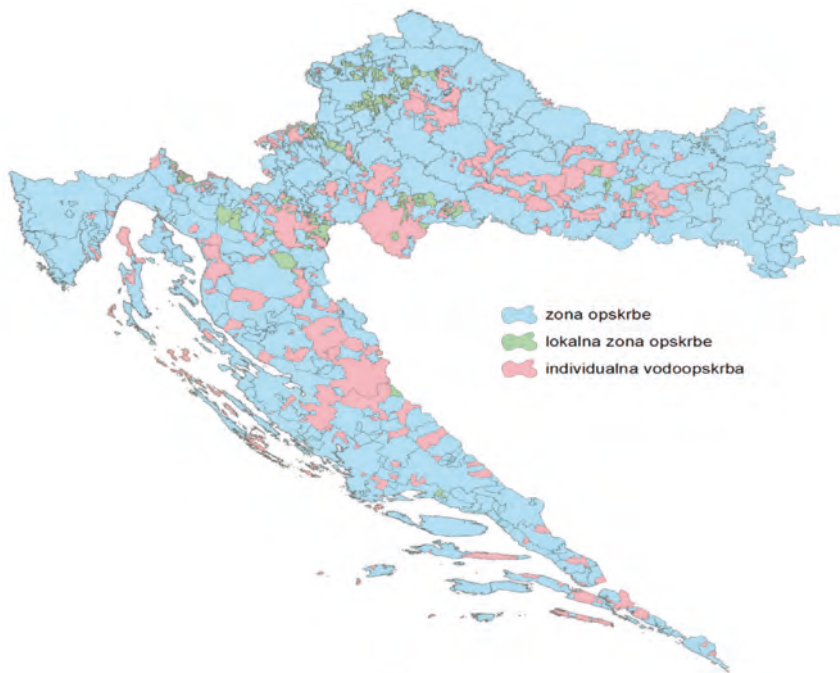
U izvješću EEA-e zaključuje se da su europske vode i dalje pod znatnim pritiscima uzrokovanim onečišćenjem iz raspršenih izvora (kao što su poljoprivreda, prometna infrastruktura) i točkastih izvora (kao što su industrija ili proizvodnja energije), prekomjernim zahvaćanjem i hidromorfološkim promjenama koje su posljedica niza ljudskih aktivnosti. Prikupljeni podaci o kvaliteti vode pomažu kod izrađivanja planova za upravljanje vodnim područjima kako bi se postigli ciljevi ODV. Primarni cilj je postizanje dobrog

ekološkog i kemijskog stanja za sve površinske vode i dobrog količinskog i kemijskog za sve podzemne vode. Ukoliko se ciljevi ne postignu moraju se izraditi „programi mjera“ kako bi se riješili identificirani problemi, što može uključivati usmjeravanje financijskih sredstava prema projektima za očuvanje voda i promicanje bolje prakse u upravljanju vodnim resursima.

3. IZVJEŠTAVANJE O KVALITETI VODE NAMIJENJENE ZA LJUDSKU POTROŠNJU

Europski parlament je krajem 2020. godine odobrio reviziju Direktive o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju usmjerenu, u cilju poboljšanja kvalitete vode iz sustava opskrbe vodom na cijelom području Europske unije. Direktiva je rezultat prve uspješno provedene europske građanske inicijative „Right2Water“ (hrv. „Pravo na vodu“), kojoj je glavni cilj bio poboljšanje dostupnosti kvalitetnoj i sigurnoj pitkoj vodi za građane EU, a posebice za ranjive i marginalizirane skupine. Početkom 2021. godine stupila je na snagu Direktiva (EU) 2020/2184 Europskog parlamenta i Vijeća od 16. prosinca 2020. o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju (preinaka) (eng. Drinking Water Directive, DWD) (Direktiva 2020/2184, 2020). U Republici Hrvatskoj je implementacija podijeljena između Ministarstva zdravstva (MIZ) i Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja (MINGOR). Za zdravstvenu ispravnost vode za ljudsku potrošnju je odgovoran MIZ, dok je MINGOR odgovoran za pristup vodi namijenjenoj za ljudsku potrošnju, procjenu rizika za područje sliva, upravljanje gubicima i prikupljanje podataka potrebnih za izvještavanje Europskoj komisiji. Informacije koje se trebaju pružiti na temelju DWD-a trebale bi uključivati rezultate programa praćenja, informacije o načinu obrade vode i dezinfekcije, informacije o prekoračenju vrijednosti parametara relevantnih za zdravlje ljudi, relevantne informacije o procjeni rizika i upravljanju rizikom sustava opskrbe vodom, savjete o tome kako smanjiti potrošnju vode i izbjeći zdravstvene rizike zbog stagnantne vode, kao i dodatne informacije koje bi javnosti mogle biti korisne, kao što su podaci o indikatorima, željezu, tvrdoći i mineralima, koji često utječu na percepcije potrošača o vodi iz slavine (Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analiza i monitorinzima vode namijenjene za ljudsku potrošnju, Narodne novine, broj 64/23). Bolje informiranje stanovništva o relevantnim informacijama i veća transparentnost trebalo bi povećati pouzdanje građana u kvalitetu vodu koja im se isporučuje, kao i u razinu vodne usluge, što bi trebalo rezultirati većom upotrebom vode iz slavine kao vode za piće (Zakon o vodi za ljudsku potrošnju, Narodne novine, broj 30/23). Hrvatske vode su nadležne za slanje izvještaja o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju u Europsku komisiju, dok monitoring provode županijski zavodi za javno zdravstvo, a dobivene podatke sintetizira i komentira Hrvatski zavod za javno zdravstvo. Podaci se prikupljaju prema zonama opskrbe, koja je osnovna teritorijalna jedinica za koju se daje pregled zdravstvene ispravnosti vode namijenjene za ljudsku potrošnju (Zakon o izmjenama i dopunama zakona o vodama, Narodne novine, broj 47/23). Zona opskrbe je zemljopisno definirano područje unutar kojega voda namijenjena za ljudsku potrošnju dolazi iz jednog ili više izvora, te unutar kojega se kvaliteta vode može smatrati otprilike ujednačenom (slika 5). Zonom opskrbe upravlja isporučitelj usluge javne vodoopskrbe, osim na zonama opskrbe lokalnih vodovoda gdje upravljanje uslugom javne vodoopskrbe nije uspostavljeno. Lokalna vodoopskrba podrazumijeva vodoopskrbu iz lokalnih vodovoda o kojima

skrbe grupe građana ili mjesne zajednice. Voda iz tih sustava s javno - zdravstvenog aspekta predstavlja najveći rizik, jer se voda potrošačima isporučuje bez ikakve obrade, a često i bez dezinfekcije (Plan upravljanja vodnim područjima do 2027., Narodne novine, broj 84/23).

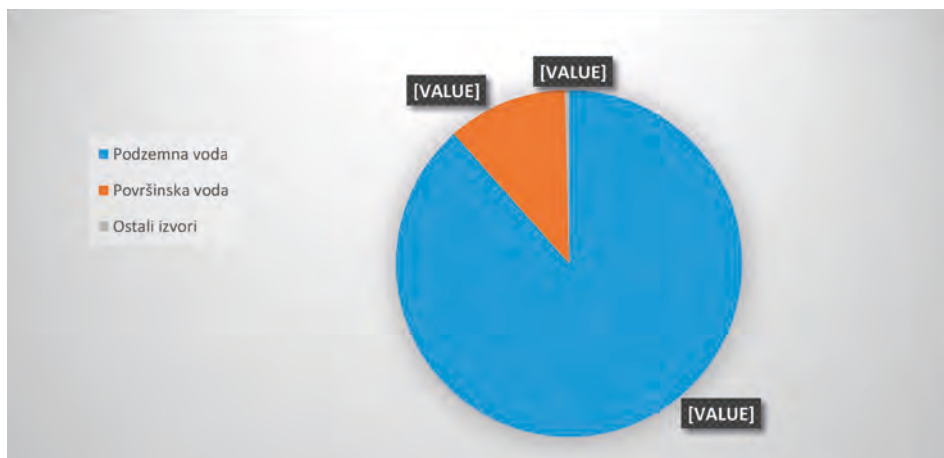


Slika 5. Zone opskrbe

Podaci koje je potrebno dostaviti nisu samo nužni za provjere usklađenosti, nego su i ključni da bi se Europskoj komisiji omogućilo praćenje i ocjenjivanje DWD-a u odnosu na željene ciljeve i kako bi se prikupile informacije za buduće evaluacije. Prethodnom Direktivom 98/83/EZ nisu utvrđene obveze izvještavanja za male isporučitelje vode. Kako bi se to ispravilo i kako bi se riješila potreba za informacijama o provedbi i usklađenosti, u DWD-u se uveo novi sustav prema kojem su države članice obvezne uspostaviti i ažurirati skupove podataka i koji sadržavaju samo relevantne podatke, kao što su prekoračivanje vrijednosti parametara i incidenti od određene važnosti, te ih učiniti dostupnima Europskoj komisiji i EEA. Time bi se trebalo osigurati da administrativno opterećenje za sve subjekte ostane ograničeno u najvećoj mogućoj mjeri. Promjene u izvještavanju su vidljive kroz prekoračenja, incidenata i odstupanja koje je potrebno izvijestiti svake godine, a počevši od 2023. godine. Incidentom se smatra događaj koji predstavlja potencijalni rizik za ljudsko zdravlje, koji je trajao više od 10 uzastopnih dana i zahvatio najmanje 1.000 ljudi. Incidenti mogu biti izbijanje neke epidemije, prekoračenja na DWD parametrima, akcidenti, nestašica vode, klimatske (vremenske) neprilike i slično. Potrebno je izvještavati o dopuštenim odstupanjima, ali pod uvjetom da takvo odstupanje ne predstavlja opasnost za ljudsko zdravlje. Nova odstupanja su jedino dopuštena za novo područje sliva za zahvaćanje vode za ljudsku potrošnju i ukoliko je ot-

kriven novi izvor onečišćenja (novi pokazatelj koji se prati). Pristup vodi, procjena rizika za područje sliva i procjena rizika za sustav opskrbe je potrebno izvijestiti svakih šest godina. U prijašnjem modelu izvještaja svi podaci su slani svake tri godine, a sada će se slati samo nesukladni (prekoračenja) na godišnjoj razini. EEA objavljuje i ažurira pregled na razini EU koji je temeljen na podacima država članica. Također, Europska komisija može donijeti provedbene akte kojima se propisuju oblik i modaliteti za objavljivanje informacija koje treba pružiti. Izvještavanjem će se još pokriti dodatni skupovi podataka, kao što su procjena rizika (za slivno područje i za distribucijski sustav), zatim pravo na pristup vodi i procjena gubitaka vode. Novi način izvještavanja u skladu je s ciljevima akcijskog plana „Zero Pollution“ (Zero pollution: Improved quality and access to drinking water, 2023). Izvještaj će se slati putem Reportnet 3 platforme. To je nova platforma za izvještavanje o okolišu i klimi Europske agencije za okoliš. Platforma obuhvaća strateške ciljeve Zelenog dogovora i digitalne strategije EU. Osigurava da EK, EEA i Europski centar za sprječavanje i kontrolu bolesti imaju pristup skupovima podataka. Na novu platformu će prijeći sve vodne direktive čime bi se došlo do usporedivosti podataka i izbjegnula bi se nepotrebna preklapanja rezultata. Izvještavanje je vrlo zahtjevan i kompleksan proces u koji je uključen veći broj različitih državnih tijela, od Hrvatskog zavoda za javno zdravstvo, Hrvatskih voda, Ministarstva zdravstva, Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja, Državnog inspektorata, javnih isporučitelja vodnih usluga i Državnog zavoda za statistiku.

U posljednjem izvještaju koji je poslan u Europsku komisiju o kvaliteti vode koja je namijenjena za ljudsku potrošnju u razdoblju 2017. do 2019. godine prikazano je da se skoro 90 % vode koristi iz podzemnih izvora (slika 6.) te da su uzorci sukladni u više od 99 % slučajeva osim arsena u 2018. (66 %) i 2019. godini (75 %).



Slika 6. Izvori korištenja vode namijenjene za ljudsku potrošnju

ZAKLJUČAK

Dok se Hrvatska suočava s brojnim izazovima u upravljanju svojim vodnim resursima, dosadašnji napredak i suradnja s Europskom komisijom osiguravaju da je na pravom putu prema očuvanju tih resursa za buduće generacije. Europska komisija koristi podatke iz ovih izvješća kako bi procijenila napredak u postizanju zacrtanih ciljeva i kako bi osigurala da se direktive pravilno primjenjuju. Ukoliko se ne postupa sukladno preuzetim obvezama, Europska komisija može poduzeti odgovarajuće pravne korake. Republika Hrvatska nastavlja s ulaganjima u monitoring kroz jačanje kapaciteta za monitoring kvalitete vode, proširenje mreže mjernih postaja, razvijanje strategija za smanjenje onečišćenja iz poljoprivrednih izvora te povećanje svijesti javnosti o važnosti očuvanja vodnih resursa.

LITERATURA

- [1] Carvalho, L., Mackay, E.B., Cardoso, A.C., Baattrup-Pedersen, A., Birk, S., Blackstock, K. L., Borics, G., Borja, A., Feld, C.K., Ferreira, M.T., (2019): Protecting and restoring Europe's waters: An analysis of the future development needs of the Water Framework Directive. *Sci. Total Environ.* 658, 1228–1238.
- [2] Direktiva (EU) 2020/2184 Europskog parlamenta i Vijeća od 16. prosinca 2020. o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju (preinaka). *Official Journal of the European Union*. eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184 (pristupljeno, 07.09.2023.)
- [3] Direktiva 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2000. o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području voda. *Official Journal of the European Union*. [Direktiva 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2000. o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000L0060) (pristupljeno 07.09.2023.)
- [4] European Environment Agency, 2020. Waterbase - Water Quality ICM (WISE6, version 6). <https://bit.ly/3r8IqvA> (pristupljeno 12.09.2023.).
- [5] Plan upravljanja vodnim područjima do 2027., Narodne novine br. 84/23, Zagreb.
- [6] Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analiza i monitorinzima vode namijenjene za ljudsku potrošnju, Narodne novine br. 64/23. Zagreb
- [7] Zakon o izmjenama i dopunama zakona o vodama, Narodne novine br. 47/23, Zagreb.
- [8] Zakon o vodi za ljudsku potrošnju, Narodne novine br. 30/23, Zagreb.
- [9] Zero pollution: Improved quality and access to drinking water. Directorate- General for Environment. [Improved quality and access to drinking water for all Europeans \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184) (pristupljeno 07.09.2023.).
- [10] Vidović, B., „Europska politika zaštite okoliša“, u Mintas Hodak, Lj.(ur), Europska unija, Zagreb, Mate, 2010.

AUTOR

dr. sc. Damir Tomas ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska,
damir.tomas@voda.hr



R 4.14.

PRIKAZ PROGRAMA MJERA U PLANU UPRAVLJANJA VODAMA NA VODNOM PODRUČJU JADRANSKOG MORA U FEDERACIJI BIH ZA RAZDOBLJE 2022. - 2027.

**Ivan Vučković, Ana Sudar, Damir Mrđen, Ivan Matković, Mladen Plantak,
Koni Čargonja - Reicher, Ivan Antunović, Tihana Gašević, Dalibor Lasić**

SAŽETAK: Izrada Planova upravljanja vodnim područjima u Federaciji BiH je definirana Zakonom o vodama (člancima 25 - 28). Planovi upravljanja vodama revidiraju se i dopunjavaju svakih 6 godina s novim podacima koji su prikupljeni u prethodnom planskom razdoblju. Program mjera za vodno područje Jadranskog mora na području Federacije BiH definiran je temeljem:

- rezultata analize pritisaka i utjecaja (izrađene sukladno EU smjernicama, CIS vodič br. 3). Analiza je identificirala vodna tijela pod rizikom od nepostizanja okolišnih ciljeva
- postojećeg rezultata monitoringa bioloških i fizikalno - kemijskih parametara (korišteni s rezervom zbog nedostataka podataka za prvenstveno biološke elemente kakvoće voda sukladno ODV-u, te nepodudarnost ocjene stanja nekih vodnih tijela sa rezultatima analize pritisaka)
- ocjene hidromorfološkog stanja vodnih tijela površinskih voda (BAS/EN 15843 (2011))
- Strategije upravljanja vodama Federacije BiH 2010. - 2022. kojom su već definirani ciljevi upravljanja s mjerama i predviđenim ulaganjima
- projektom Plana upravljanja vodama na vodnom području Jadranskog mora 2016. - 2021
- granica područja proglašanih zaštićenim sukladno Zakonu o vodama Federacije BiH (kupališta, zaštićena područja prirode, vode za piće)
- 25 definiranih ključnih mjera „Key Types of Measures“ (KTM), čija se provedba na razini Europske unije izvještava prema Europskoj komisiji. BiH još uvijek nije obvezna provoditi izvještavanje prema komisiji jer nije članica EU, ali se već sada usklađuje s Acquisom i svim provedbenim smjernicama

U radu su prikazane mjere koje se planiraju provoditi na vodnom području Jadranskog mora u Federaciji BiH za razdoblje 2022. - 2027. godina.

KLJUČNE RIJEČI: Površinske vode, Podzemne vode, Upravljanje vodama, Program mjera

A PRESENTATION OF THE PROGRAMME OF MEASURES IN THE RIVER BASIN MANAGEMENT PLAN 2022 - 2027 FOR THE ADRIATIC BASIN DISTRICT IN THE FEDERATION OF BIH

ABSTRACT: On the territory of the Federation of BiH, water management is implemented pursuant to the Water Act of FBiH (articles 25 - 28). RBMPs are revised and supplemented every 6 years with new data collected in the previous planning period. In defining the measures for the Adriatic Basin District on the FBiH territory, the following background documents were used:

- Results of analysis of pressures and impacts (prepared in compliance with the EU guidelines, CIS Guidance Document No.3). The analysis identified water bodies at risk of failing to achieve environmental objectives.
- Available monitoring results for the 2016 - 2019 period regarding biological quality elements (phytoplankton and macrophyte vegetation in lakes, and periphyton, macrophyte vegetation, benthic macroinvertebrate fauna and fish in watercourses, as well as basic physico - chemical parameters supporting biological quality elements in rivers and lakes.
- Updated hydromorphological condition assessment of surface water bodies (BAS/EN15843 (2011).
- Water Management Strategy of the Federation of BiH 2010 - 2022 already defining management objectives, measures and foreseen investments.
- RBMP 2016 - 2021 for the Adriatic Basin District in the Federation of BiH.
- Boundaries of protection areas designated pursuant to the Water Act of the Federation of BiH (sensitive and less sensitive areas, protected natural areas, drinking water).
- 25 defined Key Types of Measures (KTMs), the implementation of which is reported at the European Union level (to the European Commission). BiH is still not under obligation to report to the Commission because it is not a member of the EU, but is already aligning with the Acquis and all implementing guidelines.

The paper will present the measures whose implementation is planned in the Adriatic Basin District in the Federation of BiH for the period 2022 - 2027.

KEYWORDS: Surface water, Groundwater, Water management, Programme of measures

1. UVOD

Ciljevi koji se žele postići i svrhe zbog kojih se donose propisi o vodama u EU-u su brojni, a krajnji cilj je *postizanje visokog nivoa zaštite ljudskog zdravlja te životne sredine kao cjeline*. Okvirnom direktivom o vodama (ODV), koja je osnovni pravni i temeljni instrument politike voda u EU-u (koja se odnosi na površinske vode, prijelazne vode, vode obalnog mora i podzemne vode), sažeto formulirani ciljevi dani su u složenijem obliku pa obuhvaćaju: sprječavanje daljnjeg pogoršanja, zaštitu i poboljšanje statusa vodnih tijela, očuvanje i zaštitu vodenih ekosustava, kao i o njima ovisnih kopnenih ekosustava i močvarnih područja, unaprjeđenje održivosti korištenja voda zasnovano na dugoročnoj zaštiti dostupnih vodnih resursa, povećanje zaštite i unaprjeđenje vodenog okoliša poduzimanjem mjera za smanjenje ispuštanja, emisija prioritarnih supstanci i prestankom ili postupnim obustavljanjem ispuštanja, emisija prioritarnih opasnih supstanci u cilju

postupnog smanjivanja onečišćenja podzemnih voda.¹

Odredbе ODV-a su dosljedno integrirane u Zakon o vodama Federacije BiH.² Ovim Zakonom je planirano (članak 25) da se za provođenje strategije iz članka 24 Zakona (Strategija upravljanja vodama) donose planovi upravljanja vodama za vodno područje rijeke Save i vodno područje Jadranskog mora.

Svrha plana upravljanja, bilo vodnim područjem, bilo riječnim slivom jest stvoriti okvir i odrediti načine za održivo upravljanje vodama prema ciljevima Okvirne direktive o vodama, kao što su:

- postizanje najmanje „dobrog“ stanja svih vodnih tijela odnosno dobar ekološki potencijal,
- očuvanje „visokog“ i „dobrog“ stanja vodnih tijela tamo gdje je ono već prisutno, odnosno spriječiti pogoršanje stanja vodnih tijela,
- ispunjavanje dodatnih zahtjeva koji vrijede za zaštićena područja voda (vode namijenjene za ljudsku potrošnju, vode namijenjene za uzgoj gospodarski važnih vodenih vrsta, vode namijenjene za kupanje i rekreaciju, osjetljiva i ranjiva područja, područja namijenjena zaštiti vodnih i o vodi ovisnih staništa i vrsta) sukladno propisima na temelju kojih je uspostavljena zaštita.

Prema Zakonu o vodama Federacije BiH opći ciljevi upravljanja vodama navedeni su u članku 22:

- postizanje dobrog stanja, odnosno dobrog ekološkog potencijala površinskih i stanja podzemnih voda, odnosno vodnih i za vodu vezanih ekosustava,
- umanjeње šteta uzrokovanih raznim štetnim djelovanjem voda,
- osiguranje potrebnih količina vode odgovarajuće kakvoće za razne namjene i poticanje održivog korištenja voda, uzimajući u obzir dugoročnu zaštitu raspoloživih izvora i njihovu kvalitetu.

Prema tome, plan upravljanja riječnim slivom, kao i planovi upravljanja vodnim područjima, u Federaciji BiH u svom *programu mjera* objedinjuju obveze ispunjavanja ciljeva koje određuje ODV i regulativa Federacije BiH iz područja integralnog upravljanja vodama. To uključuje i ispunjavanje brojnih pratećih direktiva EU-a. Za predmetni Plan upravljanja vodnim područjem Jadranskog mora plansko razdoblje obuhvaća razdoblje od početka 2022. do kraja 2027. godine, odnosno predmetni “program mjera” se odnosi na navedeni šestogodišnji period.

Ovim Planom se uvode i mjere dodatne kontrole koje se provode na vodnim tijelima za koja je utvrđeno da vjerojatno neće biti u dobrom stanju (obuhvaćaju obavezu istraživanja i utvrđivanja razloga nepostizanja zadovoljavajućeg stanja, pregled i reviziju odgovarajućih dozvola i autorizaciju, te revidiranje i prilagodbu monitoringa), u skladu s člankom 26, stavkom 5, Zakona o vodama Federacije BiH.

Za vodno područje Jadranskog mora u FBiH planirano je da se okolišni ciljevi ostvare kroz četiri planska ciklusa: 2016. - 2021., 2022. - 2027., 2028. - 2033. i 2034. - 2039.

Osnova za izradu programa mjera je postavljanje zadanih ciljeva. Prijedlog dinamike za postizanje okolišnih ciljeva ODV-a dan je u tablici 1.

1 Strategija upravljanja vodama Federacije BiH, 2012.

2 Službene novine Federacije BiH br. 70/06

Tablica 1. Dinamika provedbe okolišnih ciljeva za šestogodišnje planske cikluse
(2022. - 2039.)

Stanje voda u 2021.	Okolišni ciljevi*po planskim ciklusima
Vodna tijela u dobrom ili visokom stanju u 2021.	Postavljanje okolišnih ciljeva i mjera u sklopu Programa mjera kojim će se zadržati postojeće stanje vodnih tijela kroz sve planske cikluse do 2039. i dalje.
Vodna tijela koja su: (i) pod rizikom da neće postići okolišne ciljeve u 2021. (ii) u umjereno dobrom stanju u 2021.*	Postavljanje okolišnih ciljeva u <u>drugom planskom ciklusu</u> do 2027. koji će: (i) osigurati ocjenu stanja sukladno ODV-u (ii) postići dobro stanje do 2027. za 25 % vodnih tijela
Vodna tijela koja su: (i) pod rizikom da neće postići okolišne ciljeve u 2021. (ii) u umjereno dobrom stanju u 2021.* (iii) u lošem stanju u 2021.**	Postavljanje okolišnih ciljeva koji će do kraja trećeg planskog ciklusa: (i) osigurati ocjenu stanja sukladno ODV-u do 2027. ili (ii) postići dobro stanje do 2033. za 35 % vodnih tijela (iii) postići umjereno dobro stanje do 2027. ili dobro stanje do 2033.
Vodna tijela koja su: (i) pod rizikom da neće postići okolišne ciljeve u 2021. (ii) u umjereno dobrom stanju u 2021.* (iii) u vrlo lošem stanju u 2021.**	Postavljanje okolišnih ciljeva koji će kraja četvrtog planskog ciklusa: (i) osigurati ocjenu stanja sukladno ODV-u do 2027. ili (ii) postići dobro stanje do 2039. za 40 % vodnih tijela (iii) postići umjereno dobro stanje do 2027., umjereno ili dobro stanje do 2033. i zasigurno dobro stanje do 2039.

* Na VPJM su utvrđena vodna tijela koja su u umjerenom ekološkom stanju po pratećim fizikalno - kemijskim parametrima kao posljedica antropogenih pritisaka, prvenstveno od sanitarnih otpadnih voda, za koje su predviđene osnovne mjere izgradnja kanalizacijskih sustava i UPOV-a. Zbog zahtjevnih troškova osnovnih mjera, rokovi za postizanje okolišnih ciljeva su modificirani i produženi na 4 planska ciklusa.

** Monitoringom do 2019. nisu utvrđena vodna tijela u lošem ili vrlo lošem stanju

2. PROGRAM MJERA

Program mjera za ispunjavanje tako postavljenih ciljeva Strategije upravljanja vodama Federacije BiH (tablica 1) obuhvaća osnovne, dodatne i dopunske mjere za postizanje dobrog stanja voda.

Osnovne mjere, prema Zakonu o vodama Federacije BiH i podzakonskim aktima donesenim na osnovu ovog zakona, članak 26, su:

- Mjere koje se odnose na zaštitu voda, određene vodnim zakonodavstvima Federacije BiH, odnosno: (i) mjere kojima se osigurava odgovarajuća kakvoća vode za opskrbu pitkom vodom, (ii) mjere određene propisima o zaštiti okoliša i zaštiti prirode a koje se odnose na vodne i o vodi ovisne ekosustave;
- Mjere koje se odnose na uređenje voda i zaštitu od štetnog djelovanja voda: (i) očuvanje i izravnanje količina voda, (ii) zaštita od štetnog djelovanja voda, (iii) određivanje obima gradnje vodnih objekata;
- Mjere koje se odnose na korištenje voda koje se: (i) odnose na postupke izdavanja dozvola, (ii) odnose na povrat troškova za korištenje i zaštitu voda i (iii) odnose na postizanje održivog korištenja voda.

S obzirom na to da osnovne mjere predstavljaju minimalne zahtjeve kojima se treba udovoljiti, često nisu dovoljne kako bi se postigli okolišni ciljevi i potrebno je propisati, prema potrebi i dopunske mjere (članak 11(4) ODV-a).

Provođenje osnovnih mjera zahtjeva implementaciju i provođenje sljedećih Direktiva:

1. Direktiva o vodi za kupanje 76/160EEC,
2. Direktiva o pticama 79/409 EEC,
3. Direktiva o vodi za piće 80/778 EEC nadopunjena Direktivom 98/83 EEC,
4. Direktiva o velikim nezgodama (Saveo) 96/82 EEC,
5. Direktiva o ocjeni utjecaja na okoliš 85/337 EEC,
6. Direktiva o kanalizacijskom mulju 86/278 EEC,
7. Direktiva o pročišćavanju urbanih otpadnih voda 91/271 EEC,
8. Direktiva o proizvodima za zaštitu bilja 91/414 EEC,
9. Direktiva o nitratima 91/676 EEC,
10. Direktiva o staništima 92/43 EEC,
11. Direktiva o integralnom sprečavanju zagađivanja 210/75 EEC.

Dopunske mjere - konkretne dopunske mjere nisu propisane ODV-om nego se određuju prema specifičnoj situaciji na slivu. U kreiranju i realizaciji dopunskih mjera državama je dana sloboda, ali u okviru koji će osigurati postizanje postavljenih ciljeva. Dopunske mjere mogu se donijeti radi dodatne zaštite ili poboljšanja stanja voda.

Dodatne mjere se odnose na zaštićena područja prema Zakonu o vodama Federacije BiH (zaštita akvatičnih vrsta i staništa, voda za piće, voda za kupanje) za koja su postavljeni dodatni ciljevi te njihov monitoring. Dodatne mjere vezane uz zaštićena područja, a prema Planu upravljanja vodnim područjima (PUVP) za Federaciju BiH odnose se na:

- područja namijenjena za zahvaćanje vode za piće,
- područja namijenjena zaštiti ekonomski važnih akvatičkih vrsta,
- područja namijenjena rekreaciji uključujući i područja određena za kupanje,
- područja podložna eutrofikaciji i područja osjetljiva na nitrate,
- područja namijenjena zaštiti staništa biljnih i životinjskih vrsta, ili akvatičnih vrsta u kojima je održavanje ili poboljšanje stanja voda bitan uvjet za njihov opstanak ili reprodukciju.

U tablici 2 dan je popis ključnih tipova mjera „Key Types of Measure (KTM)s“ koje sadržavaju osnovne i dopunske mjere korištene na području Jadranskog mora.

3. PODLOGE ZA DEFINIRANJE MJERA

U definiranju mjera za vodno područje Jadranskog mora na području FBiH korištene su sljedeće podloge:

1. Rezultati analize pritiska i utjecaja (izrađene sukladno EU smjernicama, Common Impementation Strategy (CIS) vodič br. 3). Analiza je identificirala vodna tijela pod rizikom od nepostizanja okolišnih ciljeva.
2. Postojeći rezultati monitoringa za razdoblje 2016. - 2019. godina bioloških elementa kakvoće (fitoplankton i makrofitska vegetacija na stajaćicama, te perifiton, makrofitska vegetacija, bentički makrobeskralješnjaci i ribe na tekućicama, te osnovni fizikalno - kemijskih parametara koje prate biološke elemente kakvoće voda na tekućicama i stajaćicama.
3. Ažurirana ocjena hidromorfološkog stanja vodnih tijela površinskih voda dana je prema standardu (BAS/EN 15843 (2011) koja je usklađena sa zahtjevima postavljenim ODV-om.), gdje je kroz tri hidromorfološka elementa (hidrološki režim longitudinalna povezanost i morfologija) dana hidromorfološka ocjena stanja.
4. Strategija upravljanja vodama Federacije BiH 2010. - 2022. kojom su već definirani ciljevi upravljanja s mjerama i predviđenim ulaganjima.
5. Plan upravljanja vodnim područjima Jadranskog mora u Federaciji BiH za razdoblje 2016. - 2021.
6. Granice područja proglašeni zaštićenim sukladno Zakonu o vodama Federacije BiH (osjetljiva i manje osjetljiva područja, zaštićena područja prirode, vode za piće).
7. 25 definiranih ključnih mjera „*Key Types of Measures*“ (KTM), čija se provedba na razini Europske unije izvještava prema Europskoj komisiji. BiH još uvijek nije obvezna provoditi izvještavanje prema komisiji jer nije članica EU, ali se već sada usklađuje sa Acquisom i svim provedbenim smjernicama.

4. REZULTATI ANALIZE PRITISAKA I UTJECAJA, MONITORINGA I HIDROMORFOLOGIJE

Na temelju analize pritiska i utjecaja, identificirana su ona vodna tijela na kojima je uočen značajan pritisak iz različitih izvora uključujući i hidromorfološke promjene. Analizom su razmatrani BPK₅, KPK, ukupni N i ukupni P kao pokazatelji pritiska iz naselja, poljoprivrede, stočarstva, industrije (gdje su idenatificirani specifični onečišćivači) i uzgoja ribe.

Rezultati analize pritiska pokazuju da od 212 vodnih tijela tekućica površinskih voda na slivu Krke, Cetine, Neretve i Trebišnjice njih 112 (97 na slivu Neretve, 12 na slivu Cetine i 3 na slivu Krke) ili oko 52,8 % nije pod značajnim pritiskom, dok je 12 (10 na slivu Neretve i 2 na slivu Cetine) ili oko 5,7 % vodnih tijela pod značajnim pritiskom. Na 74 (66 na slivu Neretve i 8 na slivu Cetine) ili na oko 34,9 % vodnih tijela pritisak vjerojatno nije značajan, a na 14 (10 na slivu Neretve i 4 na slivu Cetine) ili na oko 6,6 % vodnih tijela pritisak vjerojatno je značajan (slika 1).

Za četiri vodna tijela stajaćica utvrđeno je da dva vodna tijela nisu pod značajnim pritiskom, dok je jedno tijelo stajaćica pod značajnim i jedno pod vjerojatno značajnim pritis-

kom. Jedno vodno tijelo priobalnih voda nije pod značajnim pritiskom.

Rezultati su utvrdili da na 13 vodnih tijela (od kojih je 4 u kategoriji znatno izmijenjenog vodno tijela) vrijednosti BPK₅, KPK, ukupni N i ukupni P ukazuju na značajan pritisak na pojedino vodno tijelo.

Naselja s manje od 2000 stanovnika identificirana su kao glavni razlog odstupanja vrijednosti BPK₅ i KPK na vodnim tijelima. Na vodnim tijelima gdje je ukupni N i ukupni P identificiran kao značajni pritisak, utvrđeni izvor je bio poljoprivreda (Agencija za vodno područje Jadranskog mora Mostar, 2022).

Rezultati monitoringa - u obradi rezultata monitoringa korišteni su postojeći podaci sustavnog praćenja kakvoće površinskih voda u razdoblju od 2016. - 2019., koji se u većini slučajeva odnose na osnovne fizikalno - kemijske pokazatelje te biološke pokazatelje. Monitoring površinskih voda u razdoblju od 2016. - 2019. godine proveo se na sljedeći način:

- osnovni fizikalno - kemijski pokazatelji analizirani su na 99 vodnih tijela,
- uz osnovne fizikalno - kemijske pokazatelje, bentički makrobeskralješnjaci i perifiton analizirali su na 50 vodnih tijela, a zajedno s njima su se na 6 vodnih tijela analizirale i ribe,
- uz osnovne fizikalno - kemijske pokazatelje, bentički makrobeskralješnjaci, perifiton i makrofitska vegetacija su se analizirali na 35 vodnih tijela,
- uz osnovne fizikalno - kemijske pokazatelje, bentički makrobeskralješnjaci, perifiton, makrofitska vegetacija i ribe (svi biološki elementi) su analizirani na 13 vodnih tijela.

U razdoblju od 2016. - 2019. godine monitoring površinskih voda proveden je na ukupno 99 monitoring postaja površinskih voda, odnosno na 46 % vodnih tijela od ukupnog broja vodnih tijela na slivnom području (217 vodnih tijela).

Hidromorfologija - kod određivanja hidromorfološkog stanja vodnog tijela tekućica sukladno standardu BAS/EN 15843 (2011) ocjenjuje se 16 hidromorfoloških obilježja (metodologija opisana Dodatak III: Ocjena hidromorfološkog stanja površinskih vodnih tijela, Plan upravljanja vodama na vodnom području Jadranskog mora u Federaciji Bosne i Hercegovine 2022. - 2027), a konačnu ocjenu daje prosjek svih 16 pojedinačnih ocjena koje uključuju morfologiju, longitudinalnu povezanost vodnog tijela i hidrološki režim.

Ukupna ocjena može biti dobra iako pojedina obilježja „umjereno odstupaju“. U analizi su izdvojena ona hidromorfološka obilježja koja su umjereno izmijenjena, ali ne narušavaju ukupno dobro hidromorfološko stanje. Takva identifikacija hidromorfoloških elemenata koji su već narušeni može poslužiti u svrhu sprječavanja daljnje degradacije kod planiranja budućih zahvata na vodnim tijelima.



Slika 1. Prikaz ocjene značajnosti pritiska na vodnim tijelima površinskih voda vodnog područja Jadranskog mora (Agencija za vodno područje Jadranskog mora Mostar, 2022)

Ciljevi i mjere postavljeni Strategijom upravljanja vodama (SUV) u FBiH predstavljaju temelj za definiranje potrebnih ulaganja vezano uz ovaj Plan upravljanja. Novom Strategijom upravljanja vodama FBiH koja je za FBiH usvojena za razdoblje 2022. - 2032. u okviru Federalne strategije zaštite okoliša, definirane su sljedeće mjere:

- kadrovsko jačanje FMPVŠ,
- poticanje razvoja i osposobljavanje institucija od stručne podrške FMPVŠ i kantonalnim ministarstvima u djelokrugu njihove odgovornosti,
- institucionalno i kadrovsko ojačavanje komunalnih poduzeća,
- Formiranje i osposobljavanje timova za vođenje i implementiranje projekata sektora voda - JPP (Jedinica za programiranje i planiranje),
- razvoj centralne baze podataka o stanju kakvoće površinskih i podzemnih voda uz obavezu izvještavanja svih javnih organizacija i registriranih zagađivača,
- uspostavljanje suradnje među različitim upravljačkim strukturama vezano za obaveze izvještavanja o stanju voda i upravljanju vodama u FBiH, po zahtjevima međunarodnih komisija, nadležnim institucijama na nivou BiH,
- formiranje i kadrovsko popunjavanje kantonalnih uprava za inspekcije,

- povećanje multidisciplinarnosti u institucijama sektora voda,
- obavezno i kontinuirano stručno usavršavanje kadra u sektoru voda, organiziranje i provođenje obuke za veće industrijske zagađivače - učestvovanje predstavnika sektora upravljanja vodama,
- intenziviranje međusektorske suradnje;
- promoviranje principa integralnog upravljanja vodama u ostale sektore,
- izrada tehničke podloge za donošenje podzakonskog akta o uvjetima i djelokrugu rada referentnog/referentnih i ovlaštenih laboratorija,
- proglašavanje referentnog/referentnih laboratorija za područje FBiH od strane FMPVŠ,
- proglašavanje i davanje odobrenja za rad ovlaštenih laboratorija i suradnja s inspekcijama za precizno određivanje tereta zagađenja,
- izrada tehničke podloge podzakonskog akta o procedurama i postupcima prilikom pojave akcidentnih i izvanrednih zagađenja voda,
- pojačan sustav inspeksijskog nadzora vodnih tijela s posljedicama akcidenata.

U tablici 2 je prikazana financijska procjena realizacije po ključnim tipskim mjerama za plansko razdoblje 2022. - 2027. za vodno područje Jadranskog mora u FbiH.

Tablica 2. Financijska procjena realizacije po ključnim tipskim mjerama - KTM u PUVJ Jadranskog mora za plansko razdoblje 2022. - 2027. (Agencija za vodno područje Jadranskog mora Mostar, 2022).

	Opis mjere	Kategorije mjera prema ZoV FBiH	Mjera	Učinak mjere	Financijska procjena po KTM (KM)
1	Izgradnja ili nadogradnja postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda	Zaštita voda	Osnovna	Smanjenje organske tvari i hranjivih tvari od velikih i malih naselja	99.425.000
2	Smanjenje zagađenja nutrijentima od poljoprivrede			Smanjenje hranjivih tvari iz poljoprivrede	100.000
3	Smanjenje zagađenja pesticidima od poljoprivrede			Smanjenje opasnih tvari iz poljoprivrede	250.000
4	Sanacija kontaminiranih lokaliteta (remedijacija kontaminiranih zemljišta, riječnih sedimenata, podzemnih voda i slično)	Korištenje voda Zaštita voda Zaštita od voda	dopunska	Smanjenje opasnih tvari koje mogu doprijeti u podzemne vode	180.000
5	Poboljšanje uzdužnog kontinuiteta vodotoka (primjerice uspostavljanje riblje staze, rušenje starih pregrada / brana)			Smanjenje negativnog hidromorfološkog utjecaja na status i / ili ekološki potencijal površinskih voda	250.000
6	Poboljšanje ostalih hidromorfoloških uvjeta vodnih tijela osim uzdužnog kontinuiteta vodotoka (primjerice obnova prirodnog riječnog toka, poboljšanje uvjeta u priobalnim područjima, uklanjanje nasipa, ponovno povezivanje rijeka s poplavnim područjima, poboljšanje hidromorfološkog stanja prijelaznih voda, itd.).			Smanjenje negativnog hidromorfološkog utjecaja na status i / ili ekološki potencijal površinskih voda	200.000
7	Poboljšanja režima protoka i / ili uspostavljanje ekološki prihvatljivog protoka			Smanjenje negativnog utjecaja na status i / ili ekološki potencijal površinskih voda	270.000

	Opis mjere	Kategorije mjera prema ZoV FBiH	Mjera	Učinak mjere	Financijska procjena po KTM (KM)
8	Povećanje stupnja priključenja stanovništva na sustave javne vodoopskrbe	Korištenje voda	osnovna	Povećanje postotka vodoopskrbe domaćinstava, smanje gubitaka u vodoopskrbi Racionalno korištenje voda	47.900.000
	Tehničke mjere poboljšanja učinkovitog korištenja voda za navodnjavanje, industriju, energetiku i domaćinstva				(550.000) kroz projektne aktivnosti
9	Politika mjera određivanja cijena vode za provedbu povrata troškova vodnih usluga za kućanstva				50.000
10	Politika mjera određivanja cijena vode za provedbu povrata troškova vodnih usluga za industriju				
11	Politika mjera određivanja cijena vode za provedbu povrata troškova vodnih usluga za poljoprivredu				
12	Savjetodavne usluge u poljoprivredi	Zaštita voda Korištenje voda	dopunska	Smanjenje hranjivih i opasnih tvari iz poljoprivrede	
13	Mjere zaštite vode za piće (primjerice uspostavljanje zaštitnih zona, itd.)		osnovna	Zaštita vode za piće	4.000.000 + 300.000 Agencija za vodno područje Jadranskog mora
14	Istraživanje, unaprjeđenje baze znanja, u svrhu otklanjanja nepoznanica smanjujući nepreciznosti ulaznih podataka		dopunska	Očuvanje dobrog statusa površinskih i podzemnih voda	3.500.000
15	Mjere za postupno smanjenje emisije, ispuštanja i sprječavanja ulaska prioriternih i opasnih tvari u okoliš.	Zaštita voda	osnovna	Smanjenje zagađenja površinskih vodama opasnim i prioriternim tvarima iz industrije	
16	Nadgradnja i poboljšanje postrojenja za pročišćavanje industrijskih otpadnih voda (uključujući i farme)			Smanjenje unosa hranjivih tvari iz stočarstva	2.550.000
17	Mjere za smanjenje sedimenata od erozije tla i površinskih otjecanja	Zaštita voda Zaštita od voda	dopunska	Smanjenje zagađenja voda	(600.000) kroz projektne aktivnosti
18	Mjera za sprečavanje ili kontrolu štetnih utjecaja invazivnih stranih vrsta koji prenose bolesti	Zaštita voda		Očuvanje bioraznolikosti površinskih voda	
19	Mjera za sprečavanje ili kontrolu štetnih učinaka u turizmu uključujući ribolov				
20	Mjera za sprečavanje ili kontrolu štetnih utjecaja ribolova i druge eksploatacije / uklanjanje životinja i biljaka				
21	Mjere za sprječavanje ili kontrolu unosa zagađenja od urbanih područja, transporta i infrastrukture			Smanjenje zagađenje voda od infrastrukture	
22	Mjera za sprečavanje ili kontrolu unosa zagađenja iz šumarstva	Smanjenje zagađenja iz šumarstava			
23	Uspostava prirodnih retencija	Zaštita voda Zaštita od voda		Očuvanje bioraznolikosti površinskih voda	
24	Mjere prilagodbe na klimatske promjene			(1.000,00) kroz projektne aktivnosti	
25	Mjere za suzbijanje zakiseljavanja	Zaštita voda	Smanjenje zakiseljavanja površinskih voda		
UKUPNO INVESTICIJE U VODOPSKRBU, ODVOJNJU I ZAŠTITU VODA					151.325.000
UKUPNO ULAGANJA AGENCIJE ZA VODNO PODRUČJE JADRANSKOG MORA					5.550.000
UKUPNO KROZ TEKUĆE I NAJAVLJENE PROJEKTNE AKTIVNOSTI					2.150.000
UKUPNO ULAGANJA OSTALIH KORISNIKA					2.500.000

ZAKLJUČAK O PROGRAMU MJERA

U prethodnom planskom razdoblju 2016. - 2021. za realizaciju programa mjera uloženo je ukupno 158.805.689 KM (74,52 % od planiranog). Prema ulaznim podacima za pripremu planova upravljanja (2019. u odnosu na 2015.) došlo je do pozitivnih pomaka u tehničkim pokazateljima:

- porast stupnja priključenja na vodovod s 62,14 % u 2015. na 78,23 %,
- smanjenje gubitaka u vodoopskrbnoj mreži sa 60,00 % u 2015. na 46,11 %,
- porast stupnja priključenja na kanalizaciju sa 31,69 % u 2015. na 40,39 %, te
- porast stupnja priključenosti uređaja za obradu otpadnih voda sa 6,23 % u 2015. godini na 18,7 % u 2019. godini, što je direktna posljedica izvršenih ulaganja.

Mjere koje nisu realizirane u planskom razdoblju 2016. - 2021. prenesene su u ovaj plan, ali je i dalje evidentno da se za provođenje propisanih mjera i obaveza, te postizanje ciljeva moraju osigurati redovna financijska sredstva i adekvatni kadrovski kapaciteti.

Iz svega navedenog, za Plan upravljanja vodnim područjem Jadranskog mora u Federaciji BiH može se zaključiti:

- organsko onečišćenje od naselja s manje od 2.000 stanovnika i hranjive tvari s poljoprivrednih površina predstavljaju najznačajniji pritisak na površinske vode odnosno razlog odstupanja od "dobrog stanja",
- rezultati monitoringa mogu samo jednim dijelom služiti kao podloga za definiranje mjera,
- u sklopu ovog Plana upravljanja neće biti potrebne mjere vezane uz poboljšanje morfološkog stanja vodnih tijela, već samo mjere za očuvanje i sprječavanje daljnje degradacije,
- ciljevi i mjere postavljeni Strategijom upravljanja vodama u FBiH predstavljaju temelj za definiranje potrebnih ulaganja vezano uz ovaj Plan upravljanja, a ukupni troškovi praćenja stanja i mjera za popravljanje stanja, za razdoblje primjene Plana, ovisiti će u velikoj mjeri o socio - ekonomskom stanju u Federaciji BiH,
- provedba pratećih direktiva ODV-a je u funkciji očuvanja dobrog stanja voda i smanjivanja nepouzdanosti ocjene stanja pojedinih vodnih tijela.

Za provođenje redovnih i dodatnih monitoringa, izrade studija i dodatnih istraživanja, te priprema za sljedeći planski ciklus (mjere 2, 3, 4, 5., 6, 7, 10, 13, 14 i 16. iz tablice 2) AVPJM treba osigurati 5.550.000 KM.

Realizacija pojedinih mjera (9, 17 i 24 iz tablice 2), se očekuje kroz tekuće i najavljene projektno aktivnosti a njihova procijenjena vrijednost na VPJM iznosi 2.150.000 KM, što ne uključuje i redovan rad nadležnih institucija. Procijenjena vrijednost troškova ostalih subjekata (dio mjere 16 iz tablice 2) iznosi 2.500.000 KM. Ostale mjere, za koje nije naveden financijski iznos, planiraju se provesti kroz redovan rad nadležnih institucija. Konkretni iznos za navedene mjere se ne može točno odrediti niti se može financijski pratiti njihova realizacija, a njihova približna procjena iznosi okvirno 3.000.000 KM.

Za održavanje stupnja ulaganja u skladu s Planom i SUV, potrebno je nastaviti napore na osiguravanju vanjskih izvora financiranja. Kako bi se mogla koristiti sredstva međunarodnih financijskih institucija (IFI) i dostupna grant sredstva, tijekom 2019. izrađena je i usvojena Jedinствена lista prioriteta projekata zaštite okoliša i klimatskih

promjena u BiH (SSPP) prema kojoj treba izvršiti usklađivanje baze podataka BiH (PI-MIS). Na taj način bi se osiguralo jedinstveno i jednoobrazno evidentiranje projekata od značaja koji imaju šanse za financiranje putem spomenutih izvora.

LITERATURA

- [1] Agencija za vodno područje Jadranskog mora Mostar, (2016): Izvješće o stanju kvalitete površinskih i podzemnih voda vodnog područja Jadranskog mora na području FBiH u 2014 i 2015 godini
- [2] Agencija za vodno područje Jadranskog mora Mostar, (2017): Izvješće o stanju kvalitete površinskih i podzemnih voda vodnog područja Jadranskog mora na području FBiH u 2016 godini
- [3] Agencija za vodno područje Jadranskog mora Mostar, (2018): Izvješće o stanju kvalitete površinskih i podzemnih voda vodnog područja Jadranskog mora na području FBiH u 2017 godini
- [4] Agencija za vodno područje Jadranskog mora Mostar, (2019): Izvješće o stanju kvalitete površinskih i podzemnih voda vodnog područja Jadranskog mora na području FBiH u 2018 godini
- [5] Agronomski i Prehrambeno - tehnološki fakultet Sveučilišta u Mostaru (2016): Biološki monitoring površinskih voda slivova Neretve i Cetine na području Federacije BiH u 2016. godini
- [6] Agronomski i Prehrambeno - tehnološki fakultet Sveučilišta u Mostaru (2017): Biološki monitoring površinskih voda slivova Neretve i Cetine na području Federacije BiH u 2017. godini
- [7] Agronomski i Prehrambeno - tehnološki fakultet Sveučilišta u Mostaru (2018): Biološki monitoring površinskih voda slivova Neretve i Cetine na području Federacije BiH u 2018. godini
- [8] Agencija za vodno područje Jadranskog mora Mostar, (2022): Plan upravljanja vodama na vodnom području Jadranskog mora u Federaciji Bosne i Hercegovine 2022. - 2027. Dodatak A: Pregled vodnih tijela površinskih voda na vodnom području Jadranskog mora u Federaciji BiH; Dodatak I: Karakterizacijski izvještaj; Dodatak II: Identifikacijske kartice vodnih tijela podzemnih voda i postojeći monitoring podzemnih voda; Dodatak III: Ocjena hidromorfološkog stanja površinskih vodnih tijela; Dodatak IV: Ekonomska analiza korištenja voda.
- [9] BAS EN 15843: 2011 Water quality - Guidance standard on determining the degree of modification of river hydromorphology
- [10] Guidance on General principles for Pressures & Impacts Analysis, UK Technical Advisory Group
- [11] Zakon o vodama, Službene novine Federacije Bosne i Hercegovine, broj 70/06
- [12] Zavod za vodoprivredu Sarajevo i Zavod za vodoprivredu Mostar (2012): Strategija upravljanja vodama Federacije BiH. Sarajevo

- [13] Water Framework direktive (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy, Brussels

AUTORI

dr. sc. Ivan Vučković, dipl. ing. biol. ^a

Ana Sudar, dipl. ing. teh ^b

Damir Mrđen, dipl. ing. građ ^b

Ivan Matković, dipl. ing. šum. ^b

Mladen Plantak, mag. geogr. ^a

Koni Čargonja-Reicher, dipl. ing. građ. ^b

mr. sc. Ivan Antunović, dipl. ing. geol. ^a

Tihana Gašević, dipl. ing. građ. ^b

Dalibor Lasić, dipl. ing. teh. ^b

^a Elektroprojekt, Građevinsko - arhitektonski biro, Odjel ekologije, Alexandera von Humboldta 4, 10 000 Zagreb, Hrvatska, ivan.vuckovic@elektroprojekt.hr

^b Agencija za vodno područje Jadranskog mora Mostar, Ulica dr. Ante Starčevića b.b., 88000 Mostar, Bosna i Hercegovina



R 4.15.

CJELOVITO UPRAVLJANJE KAKVOĆOM VODA RURALNOGA RIJEČNOG SLIVA

Gorana Ćosić-Flajsig, Barbara Karleuša, Matjaž Glavan

SAŽETAK: U radu je prikazan inovativni interdisciplinarni model integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnoga riječnog sliva radi postizanja dobrog stanja voda i okolišnih ciljeva riječnog sliva. Model se temelji na implementaciji DPSIR pristupa s ArcGIS-om i definiranju ključnih problema i izvora pritisaka u riječnom slivu. Za prostornu kvantifikaciju pritisaka u riječnom slivu odabran je matematički model Soil Water Assessment Tool (SWAT), koji je prikladan za manje ruralne riječne slivove. Razvijeni model testiran je na ruralnom prekograničnom slivu rijeke Sutle između Slovenije i Hrvatske. Modelirani su različiti scenariji uz primjenu osnovnih i dopunskih mjera, i to: scenarij sadašnjeg stanja, scenariji prošlog stanja „s“ i „bez“ akumulacije Vonarje / Sutlanskog jezera, te scenariji budućeg stanja „s“ i „bez“ akumulacije uključujući i utjecaje klimatskih promjena. Definirani su kritični podslivovi s „hot spots“ pritisaka nutrijenata i sedimenta riječnog sliva za koje je zaključeno da generiraju najveći pritisak onečišćenja nutrijentima i sedimentom i da je provedba mjera na njima najučinkovitija za cijeli riječni sliv. Za scenarij sadašnjeg stanja - osnovni scenarij, primijenjene su dopunske mjere „po mjeri“ riječnog sliva, i to: zelena infrastruktura i agro - okolišne mjere, uključujući najbolju poljoprivrednu praksu, koje su pokazale značajni učinak zadržavanja nutrijenata i sedimenta u njima, te smanjenja unosa u vodotok nizvodno.

KLJUČNE RIJEČI: Model upravljanja kakvoćom voda, Ruralni riječni sliv, SWAT model, Dopunske mjere „po mjeri“ riječnog sliva, Zelena infrastruktura, Agro - okolišne mjere

INTEGRATED WATER QUALITY MANAGEMENT OF A RURAL RIVER BASIN

ABSTRACT: The paper presents an innovative interdisciplinary model for integrated water quality management of a rural river basin in order to achieve good water status and environmental objectives of the river basin. The model is based on implementing the DPSIR approach with ArcGIS and defining key problems and sources of pressure in the river basin. For the spatial quantification of pressures in the river basin, the mathematical model Soil Water Assessment Tool (SWAT), suitable for smaller rural river basins, was chosen. The developed model was tested on the rural transboundary river basin of the Sutla river between Slovenia and Croatia. Different scenarios were modelled, with the

implementation of basic and additional measures, namely: the scenario of the current state, scenarios of the past state “with” and “without” the Vonarje Reservoir/Sutla Lake, and scenarios of the future state “with” and “without” the reservoir, also including climate change impacts. Critical subbasins with “hot spots” of nutrient and sediment pressures of the river basin were defined, and it was concluded that they generate the greatest pressure of nutrient and sediment pollution and that the implementation of measures on them should be the most effective for the entire river basin. For the scenario of the current state, i.e. the basic scenario, additional “tailor made” measures for the river basin were applied, namely: green infrastructure and agro-environmental measures, including best agricultural practice, which have shown a significant effect on retaining nutrients and sediment, as well as reducing the input into the watercourse downstream.

KEYWORDS: Water quality management model, Rural river basin, SWAT model, Additional “tailor made” measures for the river basin, Green infrastructure, Agro - environmental measures

1. UVOD

Upravljanje kakvoćom voda ruralnog riječnog sliva, unutar integralnoga upravljanja riječnim slivom, zahtijeva barem postizanje dobrog stanja svih vodnih tijela, smanjenje rizika od eutrofikacije voda, smanjenje unosa sedimenta u vode i smanjenje rizika nepostizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva (EU WFD, 2000). Razvijeni inovativni interdisciplinarni model integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnoga riječnog sliva radi postizanja dobrog stanja voda i okolišnih ciljeva riječnog sliva temelji se na implementaciji DPSIR (engl: Driving Forces - Pressures - State - Impact - Respons) pristupa s ArcGIS-om i definiranju ključnih problema i izvora pritisaka u riječnom slivu. Razvijeni model testiran je na ruralnom prekograničnom slivu rijeke Sutle između Slovenije i Hrvatske. Za prostornu kvantifikaciju pritisaka u riječnom slivu odabran je matematički model SWAT, prikladan za manje ruralne riječne slivove, korišten je pritisak nutrijenata i sedimenta uz primjenu osnovnih i dodatnih mjera, „sa“ i „bez“ akumulacije za modeliranje sadašnjeg, prošlih i budućih scenarija uključujući utjecaj klimatskih promjena (Ćosić - Flajsig G., et al, 2021). Analizom pritisaka nutrijenata i sedimenta na kritičnim podslivovima s najvećim brojem „hot spots“, koji generiraju najveći pritisak, primijenjene su dopunske mjere „po mjeri“ riječnog sliva za scenarij sadašnjeg stanja - osnovni scenarij. Primijenjene dopunske mjere, zelena infrastruktura i agro - okolišne mjere, uključujući najbolju poljoprivrednu praksu, pokazale su značajni učinak zadržavanja i smanjenja pritisaka nutrijenata i sedimenta nizvodno (Ćosić - Flajsig G., 2023).

2. PILOT SLIV RIJEKE SUTLE

Rijeka Sutla čini granicu između Republike Slovenije i Republike Hrvatske. Veličina sliva rijeke Sutle je 590,6 km² (Slika 1).



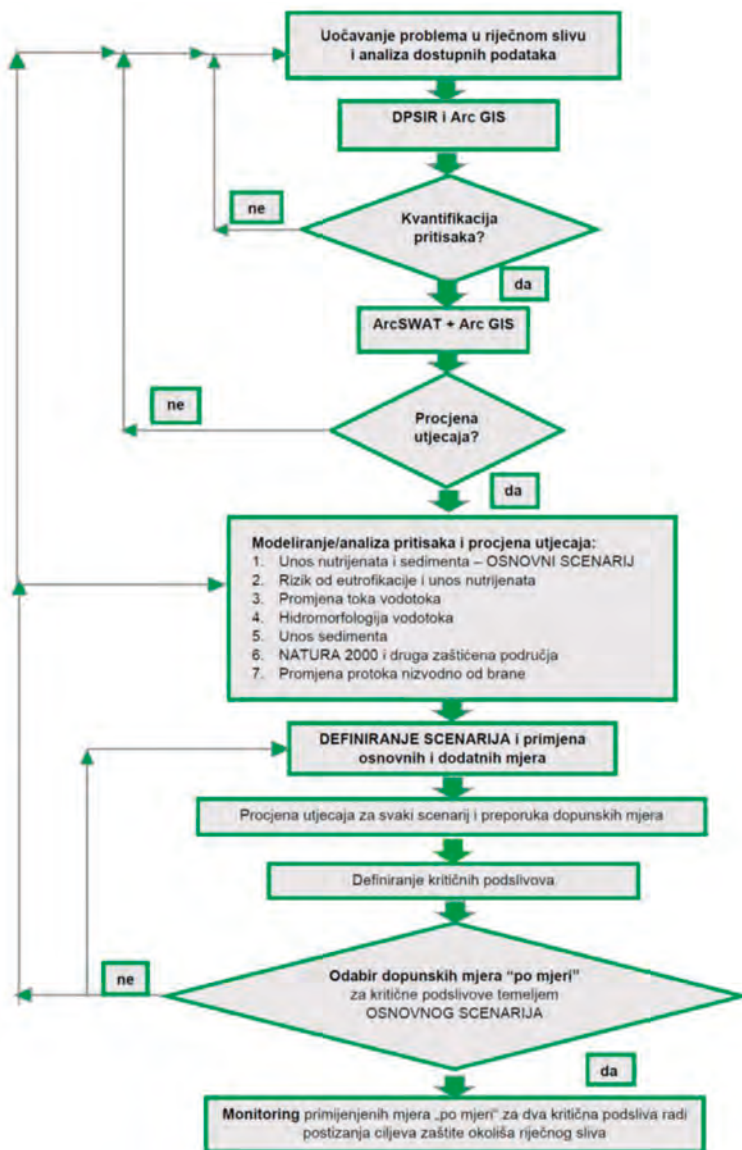
Slika 1. Prekogраниčni ruralni sliv rijeke Sute: digitalni model nadmorske visine, hidrografska mreža s jezerima, naseljima, 11 podslivova i brana Vrnarje (Ćosić - Flajsig G., 2023)

Nakon izgradnje brane Vrnarje 1980-ih, izgrađeno je Sutlansko jezero / akumulacija Vrnarje, zapremine 12,4 milijuna m³. Slika 2. prikazuje digitalni model visine, podsliv, hidrografsku mrežu s jezerima i naseljima te položaj brane Vrnarje. Ubrzo nakon punjenja, akumulacija je eutrofizirala radi onečišćenja nutrijentima iz točkastih i raspršenih izvora, te je ispražnjena 1989. godine i sada služi kao retencija za zaštitu od poplava (FRISCO projekt, 2019.).

2. MODEL INTEGRALNOGA UPRAVLJANJA KAKVOĆOM VODA RURALNOGA RIJEČNOGA SLIVA

Model se temelji na analizi pritisaka u riječnom slivu, analizi stanja voda i analizi primije_ njenih osnovnih i dodatnih mjera, procjeni utjecaja uključujući utjecaje klimatskih promjena, kao i primjeni dopunskih mjera i odgovarajući monitoring koji prati učinkovitost provedenih mjera (Ćosić - Flajsig G., 2023) (Slika 2).

Razvoj inovativnog *integralnog modela upravljanja kakvoćom ruralnoga riječnog sliva DPSIR pristupom* ima za cilj *uravnotežiti okolišne i gospodarske razvojne ciljeve*. Razvijeni model uključuje ključne alate učinkovitog upravljanja temeljem relevantnih direktiva EU-a, okolišnog i vodnog zakonodavstva i stručnog znanja, kao i europska i međunarodna iskustava. Radi ostvarenja učinkovitog upravljanja kakvoćom voda ruralnoga riječnog sliva, napravljen je cijeli niz analiza i procjena utjecaja koje su sa svim ključnim koracima modela prikazani u dijagramu toka. Korištenjem metoda sustavne analize, nakon analize pritisaka i stanja vodnih tijela riječnog sliva, analiziran je „jaz“ nepostizanja dobrog stanja voda, identificirana su vodna tijela koja su pod rizikom nepostizanja dobrog stanja voda, te ciljevi zaštite okoliša dijelova riječnog sliva za NATURA 2000 područja i mogućnost pružanja usluga ekosustava (UE). Modeliranje pritisaka i procjena utjecaja nutrijenata i sedimenta na vodna tijela rijeke Sutle izrađena je korištenjem SWAT modela, i to za sadašnje stanje - osnovni scenarij, *dva scenarija za prošlo stanje* „sa“ i „bez“ *Sutlanskog jezera* i *osam scenarija za buduće stanje* „sa“ i „bez“ *Sutlanskog jezera pod utjecajem klimatskih promjena*. Svaki scenarij, uključuje i odgovarajuće osnovne i dodatne mjere provedene prema zakonskim obvezama i praksama određenog vremenskog razdoblja (Ćosić - Flajsig, 2023). Da bi se primijenile odgovarajuće dopunske mjere, „po mjeri“ riječnog sliva, definirani su kritični podslivovi s „hot spots“ pritisaka nutrijenata i sedimenta riječnog sliva za koje je zaključeno da generiraju najveći pritisak onečišćenja, te da bi provedba mjera u njima trebala biti najučinkovitija za cijeli riječni sliv, te je odabir optimalnih dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva izrađen je za njih temeljem osnovnog scenarija.



Slika 2: Dijagram toka razvijenog modela integralnog upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva (Čosić - Flajsig G., 2023)

4. DOPUNSKE MJERE „PO MJERI” RIJEČNOGA SLIVA

U ovom istraživanju, SWAT model korišten je za prostornu kvantifikaciju pritisaka nutrijenata i sedimenta i predstavljen je osnovni scenarij - sadašnji scenarij s osnovnim i do-

datnim mjerama. Sliv rijeke Sutle podijeljen je na 11 podslivova (Slika 1). Definirani kritični podslivovi, za koje su analizirani pritisci, su podslivovi 1 i 2 koji su utjecali na promjene kakvoće vode u podslivu 2 i u podslivu 3 koji je neposredno nizvodno od brane Vonarje. Stoga, odgovarajuće dopunske mjere „po mjeri” riječnog sliva implementirane su u podslivovima 1 i 2 za osnovni scenarij, i to na lokacijama „hot spots” pritisaka nutrijenata i sedimenta. Zelena infrastruktura i agro - okolišne mjere, uključujući najbolju poljoprivrednu praksu, pokazuju značajne učinke zadržavanja sedimenta, ukupnog N i ukupnog P. Predložene mjere temelje se na Katalogu mjera zadržavanja vode u prirodi (NWRM, 2015) i SWAT katalogu (Arnold J.G. et al., 2012). Odabrane mjere su: (1) 4 - kombinacija mjera (4.2 + 4.3 + 4.4 + 4.5a), (2) 4.1 - konturiranje, (3) 4.2 - sadnja u poja-sima, (4) 4.3 - izrada terasa, (5) 4.4 - upravljanje ostacima (engl.: residue management), (6) 4.5a - prijelazne zone (engl.: filter buffer strips) - 5m, (7) 4.5b - prijelazne zone (engl.: filter buffer strips) - 15 m.

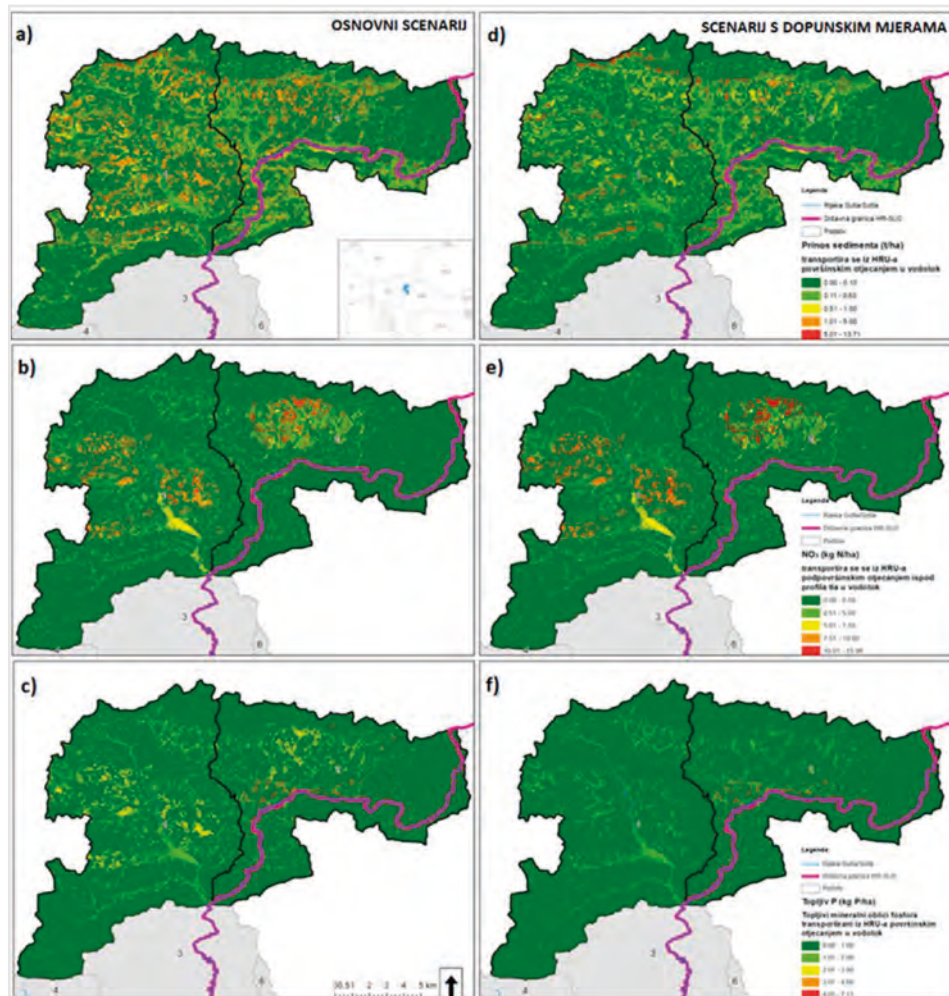
5. REZULTATI RASPRAVA

Odabrani SCENARIJI DOPUNSKIH MJERA s različitim agro - okolišnim dopunskim mjerama „po mjeri” riječnog sliva za OSNOVNI SCENARIJ (osnovne + dodatne mjere) uspoređeni su s učincima OSNOVNOG SCENARIJA s osnovnim i dodatnim mjerama, te iskazani kao rezultati % smanjenja / povećanja pritisaka za protok, sediment, ukupni N i ukupni P, SWAT modelom (Tablica 1).

*Tablica 1. Rezultati % smanjenja / povećanja pritisaka SWAT modelom za protok, sedi-
ment, ukupni N i ukupni P učinaka SCENARIJA S DOPUNSKIM MJERAMA
u odnosu na OSNOVNI SCENARIJ (Ćosić - Flajsig G., 2023)*

Scenarij s dopunskim mjerama	Protok (%)	Sediment (%)	Ukupni N (%)	Ukupni P (%)
Mjera 4	1	-33	-30	-27
Mjera 4.1	0	-19	-13	-14
Mjera 4.2	0	-23	-16	-18
Mjera 4.3	0	-4	-3	-3
Mjera 4.4	0	-12	-10	-12
Mjera 4.5a	0	-19	-14	-16
Mjera 4.5b	0	-39	-36	-44

Iz tablice 1. vidljivo je da odabrane mjere značajno doprinose smanjenju pritiska nanosa i hranjivih tvari, posebice Mjera 4 i Mjera 4.5a. Rezultati modela za mjeru 4 prikazani su na Slici 3.



Slika 3. Modeliranje redukcije nutrijenata N i P, te sedimenta, SWAT modelom temeljeno na OSNOVNOM SCENARIJU s osnovnim mjerama (a - c) i SCENARIJEM S DOPUNSKIM MJERAMA opisanim mjerom 4 (d - f) (Ćosić - Flajsig G., 2023.)

Prikazana učinkovitost primijenjenih mjera može se koristiti za izradu preporuka za primjenu dopunskih mjera za buduće scenarije klimatskih promjena i za dopunske mjere „po mjeri“ riječnog sliva za ostalih 9 od 11 podslivova. Istovremeno, predložene mjere mogu se primijeniti i na primjerice manje nagibe poljoprivrednih zemljišta kako bi se osiguralo zadržavanje sedimenta i hranjivih tvari u ekstremnim hidrološkim situacijama intenzivnih oborina i olujnog otjecanja. Cilj ovog rada bio je prikazati što se može postići modeliranjem dopunskih mjera SWAT modelom za OSNOVNI SCENARIJ, no kako bi se definirao optimalni scenarij potrebno je napraviti višekriterijsku analizu svih mogućih scenarija, sa svim relevantnim kriterijima i mjerama.

ZAKLJUČAK

Cilj ovog istraživanja bio je razviti inovativni model integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnog prekograničnog riječnog sliva, unutar integralnoga upravljanja vodama, radi postizanja okolišnih ciljeva riječnog sliva, uz korištenje SWAT modela. Razvijeni model testiran je na ruralnom prekograničnom slivu rijeke Sutle, između Slovenije i Hrvatske. Razvijeni inovativni model omogućuje unaprjeđenje upravljanja kakvoćom voda, te uz razvijene / unaprjeđene metode i metodologije u njemu, može se primijeniti i na druge riječne slivove vodnih tijela panonske ekoregije, ali i za druge regije kontinentalne klime. Temeljem novih znanja o procesima u slivu, korištenjem razvijenoga inovativnog modela, moguće je izraditi procjenu rizika nepostizanja okolišnih ciljeva riječnog sliva, kao i rizike nepostizanja dobrog stanja voda i eutrofikacije voda. Nakon provedenih analiza zaključeno je da mjera 4.1 - Izrada terasa, nije prihvatljiva za sliv rijeke Sutle. Ostale odabrane mjere modelirane su SWAT modelom. Predstavljena učinkovitost primijenjenih mjera može se koristiti za izradu preporuka za primjenu dopunskih mjera za buduće scenarije klimatskih promjena i za dopunske mjere „po mjeri“ riječnog sliva za ostalih 9 od 11 podslivova. Također, predložene mjere mogu se primijeniti i za primjerice manje nagibe poljoprivrednih zemljišta kako bi se osiguralo zadržavanje sedimenta i nutrijenata u ekstremnim hidrološkim prilikama.

ZAHVALE

Istraživanje za ovaj članak i publikaciju financiralo je Sveučilište u Rijeci u okviru projekata „Implementacija inovativnih metodologija, pristupa i alata za održivo upravljanje riječnim slivom“ (UNIRI-TEHNIC-18-129) i „Hidrologija vodnih resursa i identifikacija rizika od poplava i muljeva u kršu“ (UNIRI-TEHNIC-18-54), te Sveučilište u Ljubljani u okviru projekta OPTAIN (OPTimal strategies to retAIN and re-use water and nutrients in small agricultural catchments across different soil-climatic regions in Europa, cordis.europa.eu) koji je dobio sredstva iz programa za istraživanje i inovacije Obzor 2020. Europske unije prema ugovoru o bespovratnim sredstvima br. 862756.

LITERATURA

- [1] Arnold J G et al. (2012) Soil & Water Assessment Tool, Input/Output Documentation, Version 2012, Appendix A, Texas Water Resources Institute, TR-439, <https://swat.tamu.edu/media/69296/swat-io-documentation-2012.pdf> (pristupljeno: 11.02.2023.)
- [2] Catalogue of Natural Water Retention Measures (NWRM) (2015) <http://nwrn.eu/measures-catalogue> (pristupljeno: 11.02.2023.)
- [3] Ćosić - Flajsig G., Karleuša B., Glavan M., (2021), Integrated Water Quality Management Model for the Rural Transboundary River Basin - A Case Study of the Sutla/Sotla River. // *Water*, 13 (2021), 18; 2569, 27 doi:10.3390/w13182569
- [4] Ćosić - Flajsig G., (2023) Model integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnog riječnog sliva, Doktorski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, srpanj 2023., Rijeka

- [5] European Parliament and Council (2000) EU Water Framework Directive, Directive 2000/60/, European union: Maastricht, The Netherlands,
- [6] FRISCO PROJECT (2019) www.frisco-project.eu/engl/ (pristupljeno: 11.02.2023.)

AUTORI

dr. sc. Gorana Ćosić-Flajsig, dipl. ing. građ.^a

prof. dr. sc. Barbara Karleuša, dipl. ing. građ.^b

doc. dr. sc. Matjaž Glavan, dipl. ing. agr.^c

^a Tehničko veleučilište u Zagrebu, Graditeljski odjel, Av.V.Holjevca 15, 10000 Zagreb, Hrvatska, gcflajsig@tvz.hr

^b Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Radmile Matejčić 5, 51000 Rijeka, Hrvatska, barbara.karleusa@uniri.hr

^c Biotehniška fakulteta Univerza v Ljubljani, Jamnikarjeva ulica 101, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, matjaz.glavan@bf.uni-lj.si



R 4.16.

UTJECAJ VODE NA ORGANIZAM I ZDRAVLJE ČOVJEKA

Nihada Omerdić

SAŽETAK: Hrvatska se po bogatstvu i dostupnosti vodnih izvora po stanovniku prema UNESCO-ovom izvješću nalazi pri vrhu u Europi, a i u svijetu, i jedna je od rijetkih zemalja koja ima značajne rezerve čiste, zdrave, pitke vode. Voda je sastavnica svih živih bića i nezamjenjiv sastojak hrane. Važna je za normalno funkcioniranje ljudskog organizma - sudjeluje u svim biokemijskim reakcijama u organizmu čovjeka i štiti dijelove tijela od udaraca. Čini oko 60 - 70 % tjelesne mase odraslog čovjeka i nešto više kod djece. Stoga je neophodna i važna za život i zdravlje. Voda sudjeluje u razgradnji i apsorpciji hrane i olakšava probavu, oslobađa organizam od štetnih tvari, izvor je važnih minerala i elektrolita, regulira tjelesnu temperaturu, služi kao štitnik organa i tijela te održava kožu zdravom i usporava starenje. Briga o vodi bi trebala biti prioritet svih ljudi diljem svijeta. Zahtjevi za kvalitetom vode za piće usmjereni su na uklanjanje patogenih organizama više od 100 godina. Uvođenje filtracije 1906. i dezinfekcije klorom 1913. rezultiralo je padom učestalosti bolesti koje se prenose vodom. Štetni mikroorganizmi i kemijske tvari kontaminiraju vodena tijela, uzrokujući smanjenje kvalitete vode, potencijalno je čineći toksičnom, što ostavlja negativne učinke na zdravlje čovjeka, na okoliš, ali i na gospodarstvo. Onečišćenja vode mogu nastati iz različitih izvora, kao što su industrijski otpad, poljoprivredno otjecanje, kanalizacija i otpadne vode, pri čemu izloženost otrovnim kemikalijama, poput olova, žive i pesticida, zatim aluminija, arsena ili nitrata, može uzrokovati ozbiljne zdravstvene probleme, uključujuću neurološka oštećenja, urođene nedostatke ili rak.

KLJUČNE RIJEČI: Čista voda, Zdravlje, Posljedice onečišćenja vode

WATER IMPACT ON HUMAN ORGANISM AND HEALTH

ABSTRACT: According to the UNESCO report, Croatia ranks near the top in Europe and the world in terms of wealth and availability of water sources per inhabitant, and is one of the few countries that has significant reserves of clean, healthy drinking water. Water is a component of all living beings and an irreplaceable food ingredient. It is important for the normal functioning of the human body, participating in all biochemical reactions in the human body and protecting body parts from blows. It makes up about 60 - 70 % of the body mass of an adult and slightly more in children. It is, therefore, necessary and important for life and health. Water participates in the breakdown and absorption of food and

facilitates digestion, rids the body of harmful substances, is a source of important minerals and electrolytes, regulates body temperature, serves as a protector of organs and the body, keeps the skin healthy and slows down aging. Caring for water should be a priority for all people around the world. Drinking water quality requirements have focused on the removal of pathogenic organisms for more than 100 years. The introduction of filtration in 1906 and chlorine disinfection in 1913 resulted in a decline in the incidence of water - borne diseases. Harmful microorganisms and chemical substances contaminate water bodies, causing a decrease in water quality, making it potentially toxic, which has negative effects on human health, the environment, and the economy as well. Water pollution can come from a variety of sources, such as industrial waste, agricultural runoff, sewage and wastewater, where exposure to toxic chemicals, such as lead, mercury and pesticides, aluminum, arsenic or nitrates can cause serious health problems, including neurological damage, birth defects or cancer.

KEYWORDS: Clean water, Health, Consequences of water pollution

1. UVOD

Vodeni ili hidrološki ciklus je stalna izmjena vode u različitim oblicima tekućine, krutine (led i snijeg), i plina (vodena para) između zemljine površine, oceana i atmosfere. Hidrološki ciklus neprestano obnavlja zalihe slatke vode na zemlji. Voda, koju čovjek s divljenjem prikuplja i njeguje od pradavnoga doba, je za razliku od ostalih prirodnih pojava, neodvojiva od njega samoga. Među različitim elementima koji okružuju čovjeka na Zemlji samo se voda javlja gotovo svuda - kao savršena, plodonosna, jedinstvena. Najvjerojatnije otuda i njezina duhovna simbolika kao izvora života, sredstva očišćenja te sredstva obnavljanja. Čudesan život vode nikada se ne gubi s površine Zemlje a neprekidno kretanje, od plinovitoga stanja kao pare, do tekućega i krutoga u obliku snijega i leda, daje joj životnost. Svojim kretanjem u hidrološkom ciklusu, voda sudjeluje i u kemijskim reakcijama s atmosferskim plinovima, stijenama, biljkama i različitim tvarima, bilo da su prirodnog ili antropogenog podrijetla. Rezultat međudjelovanja vode i ovih tvari u atmosferi su promjene kemijskog sastava vode, ali i promjene tvari s kojima voda reagira. Te promjene, zajedno s ostalim promjenama u atmosferi, pridonose uspostavljanju ukupnih kemijskih uvjeta na površini Zemlje, što se odražava na konačni oblik globalnih geokemijskih ciklusa glavnih kemijskih elemenata (Na, K, Ca, Mg, Si, C, N, S, P, Cl, O i H) u okolišu, a koji su usko povezani s hidrološkim ciklusom (slika 1.)



Slika 1. Hidrološki ciklus vode

Voda je najvažniji sastojak ljudskog organizma pa se tako zetak sastoji od 90 % vode, novorođenče od 75 %, adolescent 60 %, odrasla osoba 57 %, te starije osobe 50 % vode, što ukazuje na činjenicu da bez vode nema života. Voda je sredstvo u kojem se odvijaju svi metabolički procesi, te igra važnu ulogu u detoksikaciji organizma. Bez vode se ne može preživjeti dulje od tjedan dana, a pri ekstremnim temperaturama i kraće, pa je stoga neizmjerljivo važno u organizam unijeti potrebne dnevne količine vode. Prema svim preporukama za dnevni unos, zbog važnosti koju voda ima u našem organizmu, potrebno je popiti 8 čaša vode. (Valić F. i drugi, 2001).

2. KAKO VODA UTJEČE NA ZDRAVLJE ČOVJEKA ?

Postoji 16 ključnih razloga zašto je voda neophodna za zdravlje i zašto je važno piti vodu.

- 1) Pomaže u stvaranju sline. Voda je glavna komponenta sline. Slina također uključuje male količine elektrolita, sluzi i enzima. Bitna je za razgradnju krute hrane i održavanje usta zdravim. Tijelo obično proizvodi dovoljno sline redovitim unosom tekućine. Međutim, proizvodnja sline može se smanjiti kao rezultat starosti ili određenih lijekova ili terapija.
- 2) Regulira tjelesnu temperaturu. Održavanje hidracije presudno je za održavanje tjelesne temperature jer tijelo gubi vodu znojenjem putem tjelesnih aktivnosti i u toplim okruženjima. Znoj održava tijelo hladnim, ali tjelesna temperatura će porasti ako se ne nadoknadi izgubljena voda. To je zato što tijelo gubi elektrolite i plazmu kad je dehidrirano.
- 3) Štiti tkiva. Potrošnja vode pomaže za podmazivanje i ublažavanje udaraca kod zglobova te štiti hrskavicu, leđnu moždinu i tkiva. Pomaže kod tjelesnih aktivnosti da se smanji nelagoda uzrokovana stanjima poput artritisa.
- 4) Pomaže u izlučivanju toksina putem znojenja, mokrenja i defekacije. Tijelo koristi

vodu za znojenje, mokrenje i stolicu. Znoj regulira tjelesnu temperaturu kod tjelesne aktivnosti, a voda je potrebna da nadoknadi izgubljene tekućine iz znoja. Bubrezi su također važni za filtriranje otpada putem mokrenja. Odgovarajući unos vode pomaže bubrežima da rade učinkovitije i da sprječava nastanak bubrežnih kamenaca.

- 5) Pomaže u maksimiziranju tjelesnih aktivnosti te utječe na snagu i izdržljivost. Negativni učinci kod tjelesnih aktivnosti pri visokim temperaturama zraka bez dovoljne količine vode može izazvati ozbiljne zdravstvene probleme poput smanjenog krvnog tlaka i hipertermije.
- 6) Pomaže u prevenciji zatvora - Jedenje vlakana nije jedini način da se spriječi zatvor. Važno je održavati unos vode tako da stolica sadrži dovoljno vode. Ako se ne unosi dovoljno vode, magnezija i vlakana, postoji mogućnost za zatvor.
- 7) Pomaže u probavi. Stručnjaci su potvrdili da pijenje vode prije, za vrijeme i nakon obroka, pomaže tijelu da lakše razgrađuje i probavi hranu, te izvuče maksimum iz obroka jer se tijelo prilagođava promjenama u konzistenciji hrane i želučanog sadržaja, bilo da je krut ili tekući.
- 8) Pomaže kod apsorpcije hranjivih sastojaka. Osim što pomaže u razgradnji hrane, voda je nužna i za otapanje vitamina, minerala i drugih hranjivih sastojaka iz hrane, te isporučuje vitaminske komponente ostatku tijela na uporabu.
- 9) Pomaže u mršavljenju. Studije povezuju tjelesnu masnoću i gubitak kilograma s vodom, jer puno vode tijekom dijete i fizičke aktivnosti može pomoći da se izgubi višak kilograma.
- 10) Poboljšava cirkulaciju kisika u krvi. Voda prenosi korisne hranjive sastojke i kisik kroz cijelo tijelo. Dostizanjem dnevnog unosa vode poboljšati će cirkulaciju i pozitivno utjecati na cjelokupno zdravlje organizma.
- 11) Pomaže u borbi protiv bolesti. Uzimanje dovoljne količine vode mogu se spriječiti određena zdravstvena stanja, što uključuje: zatvor, pojavu bubrežnih kamenaca, astmu izazvanu fizičkim naporom, infekcije mokraćnih puteva, hipertenziju. Voda pomaže da se apsorbiraju važni vitamini, minerali i hranjivi sastojci iz hrane, što povećava mogućnost da organizam ostane zdrav.
- 12) Pomaže u jačanju energije. Voda može aktivirati metabolizam, a jačanje metabolizma povezano je s pozitivnim utjecajem na razinu energije. Jedno istraživanje je pokazalo da je 500 ml vode pojačalo metabolizam za 30 % i kod muškaraca i kod žena i da su ti učinci trajali više od sat vremena. (World Health Organization, 2011).
- 13) Pomaže u kognitivnim funkcijama što uključuje: sposobnost logičkog razmišljanja, učenje i pamćenje, jezik, egzekutivne funkcije, pažnju, perceptivno - motornu i socijalnu kogniciju. Pravilna hidracija ključna je za odvijanju kako tjelesnih tako i kognitivnih funkcija i da nedovoljno vode u organizmu može negativno utjecati na usredotočenost, budnost i pamćenje.
- 14) Pomaže u poboljšanju raspoloženja. Osim što djeluje na naše fizičko zdravlje, voda utječe na psihi i raspoloženje. Naš mozak sastoji se od 75 % vode te osjeti već i najmanje znakove dehidracije. Kada ne uzimamo dovoljno tekućine, postajemo razdražljivi, osjećamo zamor, tjeskobu i gubimo koncentraciju.
- 15) Pomaže u održavanju lijepe kože jer je voda najbolji prijatelj u borbi protiv starenja. Dovoljan unos vode može pomoći održavati kožu hidriranom i može pospješiti

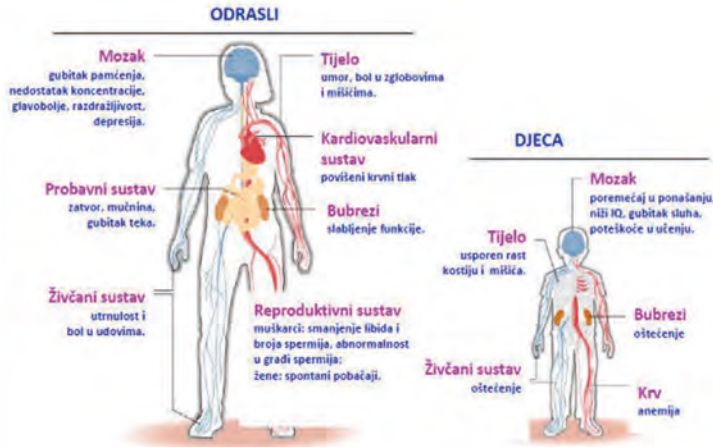
proizvodnju kolagena. Međutim, samo unos vode nije dovoljan da smanji učinke starenja.

- 16) Sprječava ukupnu dehidraciju odnosno manjak vode u tijelu. Do dehidracije dolazi kada je gubljenje vode iz tijela veće od njenog primitka. Manjak vode obično uzrokuje porast razine natrija u krvotoku. Do dehidracije mogu dovesti povraćanje, proljev, uporaba diuretika (lijekovi koji tjeraju bubrege da izlučuju povećanu količinu vode i soli), prekomjerna toplina, povišena temperatura i smanjeno uzimanje vode iz bilo kojeg razloga. Neke bolesti kao što su šećerna bolest, diabetes insipidus i Addisonova bolest mogu dovesti do dehidracije zbog prekomjernog gubitka vode (Puntarić i drugi, 2012).

3. ONEČIŠĆENJA U VODI ZA PIĆE I NJIHOV UTJECAJ NA ZDRAVLJE

Procjenjuje se da je ukupan volumen vode na Zemlji oko 1,4 milijarde kubnih kilometara, odnosno 365 milijuna kvadratnih kilometara zauzima voda, što je čak 71 % Zemljine površine. No, nije rijetka pojava da ta ista, prijeko potrebna, tekućina uz sve svoje blagotvorne učinke u sebi krije i brojne opasnosti ako sadrži neželjene tvari štetne po naše zdravlje. Naime, budući da u vodotocima i u podzemnoj vodi završava velika količina otpadnih voda iz industrije i poljoprivrede kojima se u okoliš unose metali. Ostaci pesticida, lijekovi, kozmetički proizvodi, boje, deterdženti, ulja itd., od kojih većinu čine biološki nerazgradive onečišćujuće tvari. Gotovo da nema područja, pa tako niti voda, koje ne sadrže teške metale poput olova, žive i kadmija, koji se najčešće akumuliraju i vrlo toksično djeluju na organizam.

Olovo - je u obliku iona dvovalentnog metala vrlo rasprostranjeno u prirodnim vodama, a najviše koncentracije su zabilježene u podzemnim vodama koje imale pH vrijednost < 5,5 , dok su u površinskim vodama njegove koncentracije niže i kreću se oko 0,05 mg/l. Olovo je otrov koji se akumulira u kosturu, a toksikološki učinci su mjereni na temelju koncentracije olova u krvi. Olovo je toksično i za centralni i za periferni nervni sustav, izazivajući štetne neurološke učinke u ponašanju. Štetne učinke izaziva i na reproduktivnom, kardiovaskularnom, imunološkom i gastrointestinalnom sustavu. (slika 2.)



Slika 2. Učinci na zdravlje pri otrovanju olovom

Rezultati dugotrajnih epidemioloških studija sugeriraju da prenatalna izlaganja olovu mogu imati rane učinke na mentalni razvoj djece u dobi do 4 godine. Postoje podaci i o utjecaju malih koncentracija olova na pojavu bolesti bubrega, sljepoću, pojavu raka i neurotoksičnog djelovanja na zdravlje ljudi koje mogu imati i smrtne posljedice. Olovo je kumulativni otrov za ljude, a akutno trovanje je vrlo rijetko. Tipični simptomi kod otrovanja olovom su anemija, gastrointestinalne smetnje, osjetljivost i postupna paraliza mišića, mrzovoljnost. Prema novijim rezultatima istraživanja utvrđeno je da olovo može biti još opasnije po ljudsko zdravlje nego što se ranije mislilo. Već pri niskim koncentracijama u ljudskom organizmu, osim što oštećuje bubrege, olovo može uzrokovati i povišeni krvni tlak (hipertenziju).

Živa - je kao i olovo, teški metal koji može izazvati vrlo ozbiljne štetne zdravstvene učinke. Ubraja se u anorganske onečišćujuće tvari koja se u okolišu može pojaviti iz prirodnih izvora kao što su erupcija vulkana, erozija tla, te bakterijske razgradnje organskih živinih spojeva. Najznačajniji antropogeni izvori žive su spalionice komunalnog otpada, ložišta na fosilna goriva, pogoni elektrolize gdje se živa koristi kao elektroda i drugi. Iz kojih može dospjeti u sustave za snabdijevanje vodom.

Temeljni problem onečišćenja vode živom je u tome što se njezini organometalni spojevi mogu nakupljati i metabolizirati u biosferi, a što vrlo dobro ilustrira najpoznatiji slučaj masovnog trovanja živom putem vodenog ekosustava koji se dogodio u zaljevu Minamata, u Japanu. ((Fawell J., 2003).

U nižim koncentracijama, živa u ljudskom organizmu može uzrokovati poremećaje rada bubrega i živčanog sustava. Dugotrajna izloženost živi može imati za posljedicu trajno oštećenje mozga, bubrega, ili izazvati štetne učinke na razvoj fetusa. (Rajković i drugi, 2009).

Arsen - se u podzemnim i površinskim vodama najčešće pojavljuje u obliku svojih anorganskih spojeva koji su kancerogeni pa su više opasni za organizam od njegovih organskih spojeva. U vodu dospijeva kao posljedica prirodnih erozijskih procesa, ali i sa jalovišta rudnika, odlagališta otpada farmaceutske industrije, industrije boja i pesticida.

Arsen je kancerogen, šteti srcu, plućima, želucu, jetri i bubrezima, a negativne učinke ima na živčani sustav. Naime, akutno trovanje arsenom dovodi do promjena u središnjem živčanom sustavu, gastrointestinalnom i respiratornom sustavu, kao i na koži, može izazvati komu, a u koncentraciji od 70 - 180 mg/l dovodi do smrti. Kronično trovanje arsenom manifestira se općom mišićnom slabošću, gubitkom apetita, mučninom i promjenama na koži. Pri trovanju kože pojavljuju se znakovi hiperpigmentacije kože, zadebljanja gornjeg sloja kože (hiperkeratoza), upalom perifernih živaca (polineuritis). Kronična trovanja arsenom se uglavnom javljaju kod visoke profesionalne izloženosti arsenu ili kod stanovništva koje dugo koristi vodu za piće s visokim koncentracijama arsena. Arsen u organizmu čovjeka može poprimiti i druge oblike štetnih učinaka na zdravlje kao što je jedna vrsta diabetesa s karakterističnom trajnom hiperglikemijom i nizom drugih poremećaja (komplikacije s očima, bubrezima, živcima i krvnim žilama). Pri koncentraciji arsena u vodi za piće višoj od 100 g/l, arsen uzrokuje ishemiju srca, povišeni krvni tlak ili karcinom kože, pluća i unutrašnjih organa (mokraćnog mjehura, bubrega, jetre). (Beritić - Stahuljak i drugi, 1999).

Ugljikovodici - se također nalaze među onečišćujućim tvarima koje vodama dopijevaju u okoliš. Oni se iz različitih antropogenih izvora ispuštaju u otpadne vode, pa njima u vodotoke, ili pak izlivanjem u incidentnim situacijama dopijevaju na tlo pa otuda u površinske i podzemne vode. Ovi spojevi, kada uđu u okoliš, u njemu ostavljaju tragove svoga štetnog djelovanja na različite načine, od samog nagomilavanja na površini vode (primjerice izlivanje nafte u more), pri čemu svojim fizikalnim svojstvima ugrožava flor i faunu jer sprječava fotosintezu, disanje i hranjenje, pa do ulaska u hranidbeni lanac i pojave štetnih učinaka na čovjeka. Negativni učinci ugljikovodika na čovjekov organizam su raznorodni, no ono što je najznačajnije jesu njihova mutagena i kancerogena svojstva, pogotovo kad se njihova prisutnost utvrdi u blizini vodocrpilišta. Gutanje ugljikovodika kod čovjeka može uzrokovati mučninu, povraćanje, te grčeve u truhu i jaku dijareju, a dugotrajni kontakt s onečišćenom vodom na koži može izazvati iritaciju ili pojavu dermatitisa. (World Health Organization, 2011).

Nitrati - kao vrlo značajne onečišćujuće tvari u vodi, pobuđuju veliki interes svih stručnjaka koji se bave kako zaštitom okoliša, tako i zaštitom ljudskog zdravlja, jer mogu izazvati vrlo štetne zdravstvene učinke. Najvećim izvorom nitrata u vodi smatraju se mineralna gnojiva s ratarskih površina i manjim dijelom stajsko gnojivo koje se još uvijek koristi pri obradi polja, ili pak neadekvatno izgrađene septičke jame. No, s obzirom na ukupne udjele i vrlo laku distribuciju u vodi, najvažniji i daleko najopasniji izvor nitrata upravo je gnojidba mineralnim gnojivima. Naime, kako su nitrati jako topivi u oborinskoj vodi, a nemaju sposobnost vezanja na adsorpcijski kompleks tla, jako su pokretljivi i ispiru se u dublje slojeve tla dopijevajući tako u pitke podzemne vode. Unos nitratnih iona (NO_3^-) probavnim sustavom povezan je s ubrzanjem rasta bakterijske flore, koja nitrata prevodi u nitrite, a ovi s aminima formiraju nitro - spojeve čija je kancerogenost nedvojbeno dokazana. Premda je unos nitrata i nitrita u organizam normalna pojava, jer ih sadržava i hrana, njihova prekomjerna količina u organizmu može izazvati neželjene posljedice po zdravlje. Zbog toga Svjetska zdravstvena organizacija preporuča granicu dopuštenog unosa nitrata u organizam čovjeka od 5 mg/kg tjelesne težine, dok je za nitrite ekvivalentna doza 0,4 mg/kg. Prema trenutno važećim propisima u Republici Hrvatskoj, najveća dozvoljena koncentracija (MKD) nitrata u pitkoj vodi iznosi 50 mg/l, dok

preporučena vrijednost za nitrata u pitkoj vodi EU iznosi 25 mg/l NO³⁻. Nitrati i nitriti u organizmu prevode željezo hemoglobina u oksidirani oblik uzrokujući pojavu methemoglobinemije pri čemu methemoglobin ne može prenositi kisik ili ugljikov dioksid, pa se smanjuje prijenos kisika u stanice. (World Health Organization, 2011).

Pesticidi - su zajedno s mineralnim gnojivima, tijekom prošlog stoljeća, postali najtraženiji proizvodi za primjenu u poljoprivredi, a njihova popularnost se ogledala u sposobnosti rješavanja različitih štetnika pri ugoju bilja i životinja. No štetnici su postupno razvijali otpornost na pesticide te prisiljavali poljoprivrednike na posezanje za novim kemijskim formulacijama, što je vrlo brzo dovelo do onečišćenja, pa čak i ugrožavanja okoliša. Prisutnost pesticida u okolišu utvrđena je najprije u površinskim i podzemnim vodama, što je i dovelo do prvih zabilježenih štetnih učinaka na zdravlje ljudi. Podaci o sadržaju organoklorovih pesticida u površinskim i podzemnim vodama u Republici Hrvatskoj, počeli su se prikupljati još u kasnim sedadesetim godinama prošlog stoljeća. Tada je u podzemnim vodama, kao potencijalnim izvorima pitke vode, na nekoliko lokacija u istočnoj Slavoniji i Istri, utvrđena prisutnost spojeva poput γ -heksaklorcikloheksana (γ -HCH), DDT-a i njihovih metabolita, heksaklorbenzena (HCB) i sličnih. Kasnijim istraživanjima utvrđena je pojava pesticida i u dalmatinskim rijekama, a najviše koncentracije ovih spojeva izmjerena su u rijekama kontinentalne Hrvatske (Sava, Drava, Korana, Dobra i Kupa). S obzirom na svoju toksičnost, pesticidi imaju štetne učinke na zdravlje ljudi, a ovisno o vrsti pesticida i količine unešene u organizam, simptomi trovanja mogu biti vrlo različiti ali klinička slika je slična. U početku se javljaju poremećaji disanja, probave i neurološki poremećaji što je posljedica izravnog djelovanja aktivne tvari. Prilikom trovanja preko kože ponekad se javlja žuta boja zbog oštećenja jetre, koja ponekad može završiti u smrću. Smrtni ishodi zapažaju se najčešće pri akcidentalnoj ingestiji, a rjeđe kao posljedica inhalacije. U oba slučaja neposredan uzrok smrti su prestanak funkcije vitalnih centara u vidu paralize centara za disanje, asistolije i edema pluća. Vrlo često popratne pojave trovanja s ovim spojevima, a posebno kod trovanja organofosforovim spojevima su: suženje vida, pojačano lučenje slina, otežano i nepravilno disanje, mučnina, dijareja, kratkotrajni porast krvnog tlaka, opća fizička slabost, brzo umaranje, vrtoglavica, nervoza, koma, prestanak disanja.

Mikrobiološka onečišćenja u vodi za piće - u nekim dijelovima svijeta do 80 % svih oboljenja i oko trećine svih smrti vezano je upravo uz uporabu zdravstveno neispravne vode zagađene mikrobiološkim kontaminatima. Mikroorganizmi u otpadnim vodama najčešće su fekalnog podrijetla (kalifornijske bakterije), ljudskog i životinjskog, i potječu od sanitarnih otpadnih voda naselja, te iz septičkih jama u područjima gdje se one još uvijek koriste. Otpadne vode dospijevaju u prirodne vodne recipijente a fekalije iz septičkih jama, upijaju se u tlo i dospijevaju u podzemne vode. U područjima s neadekvatnim vodoopskrbnim sustavom, pogotovo u područjima gdje se ne provodi kontinuirano ispitivanje zdravstvene ispravnosti vode, ovi uzročnici mogu dospjeti i u vodu koja se koristi za piće. Ukoliko su u fekalijama prisutne i patogene bakterije, virusi i paraziti, oni će također dospjeti zajedno s koliformnim bakterijama u otpadne i prirodne vode. (Ritter L, 2002).

ZAKLJUČAK

Voda je akumulator i transformator svih energija koje potiču na zemlji i u svemiru, i baza života na našoj planeti. Kada padne na zemlju u obliku kiše, potpuno je čista i ne sadrži nikakve strane minerale i elemente. Da bi prošla potpuni hidrološki ciklus prvo treba potonuti u zemlju, doći do geotermalnih izvora i pokupiti soli. Tada se vraća gore, pogonjena plinovima koje je stvorila tako što je otapala ugljikove spojeve. Kada je zrela, sama izlazi na izvoru. U sebi sadrži minerale i energiju, nosi hranjive tvari iz dubina i predaje ih organizmu. Korištenjem zdravstveno ispravne vode smanjit će te opasnosti od karcinoma ili srčanih bolesti. Razvojem tehnologije, industrijskom proizvodnjom, poljoprivrednim aktivnostima i ubrzanom urbanizacijom narušavaju se izvori pitke vode te smanjuje količina prirodnih rezervi vode na koju se u budućnosti računa. Potrebe za vodom rastu, a raste i broj onečišćivača i zbog toga je nužna dobra ekološka osviještenost ljudi, trajno preventivno djelovanje te strogi nadzor nad pitkom vodom i vodovodnim objektima. Adekvatna opskrba kvalitetnom vodom za piće jedan je od osnovnih preduvjeta za zdrav život. Kvaliteta vode koju pijemo može radikalno utjecati na naše zdravlje. Upravo zato, od životne je važnosti piti samo najčišću vodu.

LITERATURA

- [1] Valić F., Antonić K., Beritić - Stahuljak D., Brumen V., Cigula M., Doko - Jelinić J. (2001.): Zdravstvena ekologija. U: Anđa Raič. Zagreb: Medicinska naklada
- [2] Fawell J., J. Nieuwenhuijsen M. (2003): *Contaminants in drinking water*. Br Med Bull 68 (1): 199-208.
- [3] Rajković MB, Stojadinović MD, Lačnjevac ČM, Tošković DV, Stanojević DD. (2009): Detekcija i određivanje nekih teških metala u vodi gradske vodovodne mreže naselja Vidikovac - Beograd preko izdvojenog kamenca iz vode. Zaštita materijala. 2009; 50(1):35-34
- [4] Puntarić D., Miškulin M., Bošnjir J. (2012): *Zdravstvena ekologija*. U: Anđa Raič. Zagreb: Medicinska naklada; 2012.
- [5] World Health Organization. Guidelines for Drinking - water Quality fourth edition. [Internet]. 4 izd. Geneva: World Health Organization; 2011 [pristupljeno 15.06.2016.] Dostupno na: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf
- [6] Ritter L., Solomon K., Sibley P., Hall K., Keen P., Mattu G. i sur. (2002): Sources, pathways, and relative risks of contaminants in surface water and groundwater: A perspective prepared for the Walkerton inquiry. J Toxicol Environ Health. 2002;65:1 (1), 1-142
- [7] Beritić - Stahuljak D., Žuškin E., Valić F., Mustajbegović J. (1999): *Kemijski čimbenici radne okoline*. U: Anđa Raič. Medicina rada. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. Str. 43-69
- [8] World Health Organization. Mercury in Drinking - water: Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking - water Quality*. [Internet] Geneva: World Health Organization; 2005 Dostupno na: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/mercuryfinal.pdf

-
- [9] World Health organization. Chromium in Drinking - water: Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking - water Quality*. [Internet] Geneva: World Health Organization; 2003 [pristupljeno 15.06.2016.]. Dostupno na: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/chromium.pdf
- [10] EPA United States Environmental Protection Agency. [Internet]. United States Environmental Protection Agency - Chromium; [pristupljeno 15.06.2016.]. Dostupno na: <https://safewater.zendesk.com/hc/en>

AUTOR

Nihada Omerdić, dipl. ing. kem. ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska, nihada.omerdic@voda.hr



8. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE U PROIZVODNJI HRANE I ENERGIJE

POREČ 23. - 25. STUDENI 2023.

KAZALO AUTORA

Broj rad	autor	stranica	Broj rad	autor	stranica
A			28	R 4.06. Blažević Tonći	973
1	R 1.32. Aljinović Iva	435	29	R 3.02. Blažević Vinko	779
2	R 3.05. Antolić Jasmina	813	30	R 1.27. Boljat Ivana	383
3	R 4.14. Antunović Ivan	1063	31	R 1.29. Borović Staša	403
B			32	R 1.31. Bralić Vice	427
4	R 4.06. Babačić Monika	973	33	R 3.12. Brlek Valerija	881
5	R 3.13. Babić Stela	891	34	R 1.03. Brleković Tamara	139
6	R 2.16. Bagarić Mario	685	35	R 1.05. Brleković Tamara	161
7	R 1.23. Baković Najla	339	36	R 3.09. Brleković Tamara	851
8	R 4.02. Barbalić Darko	931	37	R 1.17. Brozinčević Andrijana	279
9	R 4.02. Barbalić Marina	931	38	R 1.30. Bubalo Kovačić Marina	417
10	P 03. Barbalić Sanja	71	39	R 4.07. Bubalo Kovačić Marina	985
11	R 4.02. Barbalić Sanja	931	40	R 2.20. Bubola Marijan	729
12	R 2.08. Barbalić Darko	607	41	R 3.03. Bohatka Berislav	789
13	R 1.14. Bartoš Divac Vladislava	245	42	R 2.17. Beraković Ivica	695
14	R 3.07. Bašić Ivana	831	43	R 1.29. Briški Maja	403
15	R 1.29. Bašić Mihaela	403	C		
16	R 1.39. Baumgartner Nikolina	501	44	R 1.28. Cenov Arijana	393
17	R 2.07. Bekić Damir	597	45	R 1.38. Cenov Arijana	493
18	R 2.08. Bekić Damir	607	46	R 2.04. Cigetić Tihana	553
19	R 2.10. Benac Čedomir	627	47	R 1.40. Ciglencečki Irena	513
20	R 3.10. Berbić Jadran	861	Č		
21	R 1.24. Bertović Ivan	351	48	R 1.25. Čanjevac Ivan	363
22	R 2.20. Bilić Katrin	729	49	R 4.14. Čargonja - Reicher Koni	1063
23	R 1.01. Bilić Marta Marija	119	50	R 2.05. Čičak Mišo	567
24	R 3.11. Bilić Marta Marija	871	51	R 2.06. Čičak Mišo	585
25	P 03. Biondić Danko	71	52	R 1.12. Kos Tea	225
26	R 1.13. Biondić Danko	235	53	P 01. Čulinović Holjevac Marija	23
27	R 1.15. Biondić Ranko	253	54	R 1.34. Čupić Daria	457
			55	R 4.01. Čupić Daria	921

56	R 4.09. Čupić Daria	1007	81	R 1.31. Gilja Gordon	427
57	R 4.12. Čupić Daria	1039	82	R 1.28. Giorgolo Silvio	393
Č					
58	R 3.08. Čosić - Flajsig Gorana	843	83	R 3.03. Giorgolo Silvio	789
59	R 3.12. Čosić - Flajsig Gorana	881	84	R 1.38. Glad Marin	493
60	R 4.15. Čosić - Flajsig Gorana	1077	85	R 4.15. Glavan Matjaž	1077
D					
61	R 1.40. Dautović Jelena	513	86	R 1.18. Gligora Udovič Marija	289
62	R 2.05. Delaš Snježana	567	87	R 1.23. Goreta Gorana	339
63	R 2.06. Delaš Snježana	585	88	R 2.22. Graf Ana Jelka	755
64	R 1.40. Dominović Iva	513	89	P 05. Grambow Martin	107
65	R 2.05. Dovranic Kardaš Tatjana	567	90	R 1.38. Grilec Dolores	493
66	R 2.06. Dovranic Kardaš Tatjana	585	91	R 3.10. Grubišić Marin	861
67	R 3.05. Drenški Alenka	813	H		
68	R 3.14. Drušković Morana	901	92	R 3.14. Halkijević Ivan	901
69	R 1.37. Družeta Siniša	485	93	R 3.13. Halkijević Ivan	891
Đ					
70	P 02. Đuroković Zoran	37	94	R 2.12. Heček Nenad	647
F					
71	R 2.03. Filipan Sanja	547	95	R 1.34. Herceg Hrvoje	457
72	R 1.27. Filipović Marina	383	96	R 1.36. Herceg Hrvoje	475
73	R 1.26. Frančišković - Bilinski Stanislav	373	97	R 4.09. Herceg Hrvoje	1007
74	R 1.29. Frangen Tihomir	403	98	R 2.16. Holjević Danko	685
G					
75	R 2.15. Galamić Anadel	675	99	R 1.37. Holjević Toni	485
76	R 2.16. Galiot Marinko	685	100	R 1.20. Horvat Bojana	309
77	R 4.14. Gašević Tihana	1063	101	R 2.07. Horvat Bojana	597
78	R 2.08. Gašparović Mateo	607	102	R 1.19. Horvat Martina	297
79	R 2.04. Gazić Tomislav	553	103	R 2.11. Hrešić Dinko	637
80	R 1.33. Getlicher Alojzije	447	104	R 2.13. Hribar Andraž	657
I					
106	R 1.14. Ilić Aleksandra	245	105	R 1.24. Husnjak Stjepan	351
107	R 1.38. Ivanković Damir	493	J		
108	R 1.39. Ivanković Damir	501	110	R 2.09. Jakupović Dado	617
108	R 1.09. Ivezić Vedran	197	111	R 2.10. Jakupović Dado	627

112	R 1.03.	Janjić Josip	139	146	R 1.12.	Leskovar Karlo	225
113	R 1.05.	Janjić Josip	161	147	R 1.15.	Leskovar Karlo	253
114	R 3.15.	Jelić Danijela	909	148	R 2.08.	Lončar Goran	607
115	R 2.17.	Josipović Marko	695	149	R 1.16.	Leskovar Karlo	267
116	R 2.18.	Josipović Marko	705	150	R 1.15.	Loborec Jelena	253
117	R 1.38.	Jozić Slaven	493	151	R 1.32.	Lovrinović Ivan	435
118	R 1.39.	Jozić Slaven	501	152	R 1.22.	Lubura Matković Tanja	331
119	R 1.24.	Jungić Danijela	351	153	R 1.27.	Lukač Reberski Jasmina	383
120	R 1.24.	Jurković Balog Nikolina	351	154	R 1.29.	Lukač Reberski Jasmina	403

K

121	R 1.17.	Kalajžić Duje	279
122	R 1.07.	Kamber Stjepan	179
123	R 1.13.	Kapelj Sanja	235
124	R 1.08.	Karleuša Barbara	187
125	R 3.11.	Karleuša Barbara	871
126	R 4.15.	Karleuša Barbara	1077
127	R 2.15.	Kovčić Omer	675
128	R 3.07.	Knežević Domagoj	831
129	R 2.17.	Kojić Antonija	695
130	P 01.	Kos Elizabeta	23
131	R 1.12.	Kos Tea	225
132	R 1.29.	Kosović Ivan	403
133	R 3.08.	Kovačević Dejan	843
134	R 3.12.	Kovačević Dejan	881
135	R 1.10.	Krvavica Nino	205
136	R 2.07.	Krvavica Nino	597
137	R 2.08.	Krvavica Nino	607
138	R 2.09.	Krvavica Nino	617
139	R 2.10.	Krvavica Nino	627
140	R 1.18.	Kulaš Antonija	289
141	R 1.31.	Kuspilić Neven	427
142	R 1.38.	Kurić Katarina	493

L

143	R 4.14.	Lasić Dalibor	1063
144	R 1.10.	Lerga Jonatan	205
145	R 1.12.	Leskovar Karlo	213

LJ

155	R 2.09.	Ljubičić Gorana	617
156	R 2.10.	Ljubičić Gorana	627

M

157	R 1.11.	Macan Miro	23
158	R 1.24.	Magdić Ivan	351
159	R 1.39.	Mamić Mirna	501
160	R 1.06.	Margeta Jure	169
161	R 3.01.	Margeta Jure	769
162	R 1.04.	Maričić Siniša	149
163	R 1.17.	Markić Nikola	279
164	R 2.17.	Marković Monika	695
165	R 2.02.	Marojević Želimir	535
166	R 1.25.	Martinić Ivan	363
167	R 2.18.	Marušić Josip	705
168	R 4.14.	Matković Ivan	1063
169	R 3.02.	Matotek Josipa	779
170	R 1.16.	Meaški Hrvoje	267
171	R 1.28.	Meden Majda	393
172	R 4.01.	Medić Đorđa	921
173	R 4.02.	Medić Đorđa	931
174	R 3.15.	Mešić Emir	909
175	R 3.07.	Meštrović Hrvoje	831
176	R 1.17.	Miculinić Kazimir	279
177	R 1.09.	Mihel Anna Maria	205
178	R 4.11.	Mihelčić Nataša	1029
179	R 4.04.	Miholić Tina	955

180	R 4.05.	Miholić Tina	963
181	R 1.19.	Mihovilović Milan	297
182	R 1.20.	Mihovilović Milan	309
183	R 3.02.	Mijušković - Svetinović Tatjana	779
184	R 2.04.	Milaković Goran	553
185	R 2.05.	Milaković Goran	567
186	R 2.06.	Milaković Goran	585
187	R 4.14.	Mrđen Damir	1063
188	R 4.03.	Miholić Tina	941
189	R 4.01.	Musić Valerija	921
190	R 4.03.	Musić Valerija	941
191	R 4.04.	Musić Valerija	955
192	R 4.05.	Musić Valerija	963
193	R 1.18.	Mustafić Perica	289

N

194	R 3.13.	Nakić Domagoj	891
-----	---------	---------------	-----

O

195	R 2.22.	Obarčanin Enes	755
196	R 2.21.	Obuljen Mario	739
197	R 4.16.	Omerdić Nihada	1087
198	R 1.38.	Ordulj Marin	493
199	R 1.39.	Ordulj Marin	501
200	R 1.10.	Oskoruš Dijana	205
201	R 1.11.	Oskoruš Dijana	213
202	R 1.12.	Oskoruš Dijana	225
203	R 1.13.	Oskoruš Dijana	235
204	R 1.15.	Oskoruš Dijana	253
205	R 1.16.	Oskoruš Dijana	267
206	R 1.20.	Oštrić Maja	309
207	R 4.11.	Oštrić Maja	1029
208	R 2.04.	Ožanić Ines	553
209	R 1.01.	Ožanić Nevenka	119
210	R 1.02.	Ožanić Nevenka	129
211	R 1.08.	Ožanić Nevenka	187
212	R 1.21.	Ožanić Nevenka	323

P

213	R 1.26.	Paar Dalibor	373
214	R 1.29.	Patekar Matko	403
215	R 3.08.	Pavlović Dario	843
216	R 3.12.	Pavlović Dario	881
217	R 1.38.	Peroš - Pucar Danijela	493
218	R 2.18.	Petošić Dragutin	705
219	R 2.09.	Petrović Vedrana	617
220	R 2.10.	Petrović Vedrana	627
221	R 1.26.	Pichler Srđan	373
222	R 2.05.	Piha Davorin	567
223	R 2.06.	Piha Davorin	585
224	R 1.28.	Piškur Vanda	393
225	R 1.16.	Plantak Lucija	267
226	R 4.14.	Plantak Mladen	1063
227	R 2.17.	Plavšić Hrvoje	695
228	R 3.03.	Plišić Ivica	789
229	R 1.29.	Pola Marco	403
230	R 3.05.	Popović Ivica	813
231	R 3.14.	Posavčić Hana	901
232	R 1.14.	Prohaska Ognjen	245
233	R 1.14.	Prohaska Stevan	245
234	R 2.14.	Prohaska Stevan	669
235	R 1.07.	Prpić Julija	179
236	R 1.13.	Ptiček Siročić Anita	235
237	R 1.38.	Puljak Tatjana	493
238	R 1.39.	Puljak Tatjana	501

R

239	R 1.17.	Radišić Maja	279
240	R 1.19.	Radišić Maja	297
241	R 1.20.	Radišić Maja	309
242	R 1.23.	Radišić Maja	339
243	P 04.	Rašeta Bastić Jovana	99
244	R 1.35.	Ratkaj Matija	469
245	R 1.30.	Reljić Marko	417
246	R 1.31.	Reljić Marko	427
247	R 2.20.	Reljić Marko	729

248	R 4.07.	Reljić Marko	985	Š	286	R 3.09.	Šćuka Marta	851	
249	R 1.22.	Ričković Vedrana	331		287	R 2.08.	Šepić Jadranka	607	
250	R 4.06.	Ričković Vedrana	973		288	R 4.01.	Šikoronja Marija	921	
251	R 2.07.	Roland Vlatko	597		289	R 4.03.	Šikoronja Marija	941	
252	R 1.30.	Romić Davor	417		290	R 4.04.	Šikoronja Marija	955	
253	R 2.20.	Romić Davor	729		291	R 4.05.	Šikoronja Marija	963	
254	R 4.07.	Romić Davor	985		292	R 2.07.	Šiljeg Ante	597	
255	R 4.07.	Romić Marija	985		293	R 3.10.	Šimić Luka	861	
256	R 1.17.	Rubinić Josip	279		294	R 3.08.	Šimunec Ivan	843	
257	R 1.19.	Rubinić Josip	297		295	R 3.04.	Širac Siniša	801	
258	R 1.20.	Rubinić Josip	309		296	R 4.12.	Širac Siniša	1039	
259	R 1.23.	Rubinić Josip	339		297	R 1.38.	Šolić Mladen	493	
260	R 2.07.	Rubinić Josip	597		298	R 2.17.	Šoštaric Jasna	695	
261	R 3.05.	Rubeša Josip	813		299	R 3.09.	Šperac Marija	851	
262	R 1.17.	Ružić Igor	279		300	R 3.10.	Šperac Marija	861	
263	R 1.20.	Ružić Igor	309		301	R 3.11.	Šperac Marija	871	
264	R 2.07.	Ružić Igor	597		302	R 3.09.	Šreng Željko	851	
265	R 2.09.	Ružić Igor	617		303	R 3.10.	Šreng Željko	861	
266	R 2.10.	Ružić Igor	627		304	R 4.08.	Štimac Varat Mirjana	993	
					305	R 2.02.	Šustić Diana	535	
S					T	306	R 1.17.	Tadić Andrea	279
267	R 1.05.	Santos Joao Filipe	161			307	R 2.09.	Tadić Andrea	617
268	P 04.	Sarač Mirza	99			308	R 2.10.	Tadić Andrea	627
269	R 1.27.	Selak Ana	383			309	R 1.03.	Tadić Lidija	139
270	P 05.	Simon Bernhardt	107	310		R 1.05.	Tadić Lidija	161	
271	R 1.39.	Simonović Niki	513	311		R 1.27.	Terzić Josip	383	
272	R 3.07.	Sjekavica Klepo Mariela	831	312		R 1.29.	Terzić Josip	403	
273	R 4.07.	Smuđ Tena	985	313		R 2.13.	Tokić Mufid	675	
274	R 1.19.	Sovinc Andrej	297	314		R 4.13.	Tomas Damir	1053	
275	R 1.19.	Sprčić Alena	297	315		R 1.37.	Travaš Vanja	485	
276	R 1.24.	Sraka Mario	351	316		R 1.07.	Tomas Damir	179	
277	R 1.32.	Srzić Veljko	435	317		R 1.20.	Tot Ivan	309	
278	R 3.15.	Stanković Davor	909	318		R 4.10.	Tudić Alma	1021	
279	R 4.04.	Stanković Igor	955						
280	R 4.14.	Sudar Ana	1063						
281	R 1.08.	Sušanj Čule Ivana	187						
282	R 1.21.	Sušanj Čule Ivana	323						
283	R 3.09.	Sušanj Čule Ivana	851						
284	R 2.04.	Suton Tomislav	553						
285	R 2.03.	Suton Tomislav	547						

V

319	R 1.11.	Varjačić Dora	213
320	R 1.22.	Vidaković Šutić Renata	331
321	R 4.12.	Vlašić Alena	1039
322	R 3.04.	Vlašić Alena	801
323	R 2.19.	Vlatković Dunja	719
324	R 1.02.	Volf Goran	129
325	R 1.08.	Volf Goran	187
326	R 1.18.	Volf Goran	289
327	R 3.14.	Vouk Dražen	901
328	R 3.13.	Vouk Dražen	891
329	R 3.06.	Vranar Zrinka	823
330	R 1.35.	Vrbanac Boris	469
331	R 4.06.	Vrcelj Boris	973
332	R 1.38.	Vrdoljak Tomaš Ana	493
333	R 1.39.	Vrdoljak Tomaš Ana	501
334	R 3.03.	Vrkić Šivolija Tamara - Jelica	789
335	R 4.14.	Vučković Ivan	1063
336	R 2.01.	Vujnović Tatjana	525
337	R 1.28.	Vukić Lušić Darija	393
338	R 1.38.	Vukić Lušić Darija	493
339	R 2.01.	Vukmanić Luka	525

Z

340	R 1.13.	Zavrtnik Saša	235
341	P 04.	Zeljko Dragan	99
342	R 1.30.	Zovko Monika	417
343	R 2.20.	Zovko Monika	729
344	R 4.07.	Zovko Monika	985
345	R 1.40.	Zovko Zdeslav	513

Ž

346	R 1.01.	Žic Elvis	119
347	R 1.02.	Žic Elvis	129
348	R 2.10.	Žigo Ivan	637
349	R 1.28.	Živković Sanja	393
350	R 1.18.	Žutinić Petar	289

Konferencija se održava pod visokim pokroviteljstvima

**PREDSJEDNIKA REPUBLIKE HRVATSKE I
MINISTARSTVA GOSPODARSTVA I ODRŽIVOG RAZVOJA**



REPUBLIKA HRVATSKA
Ministarstvo gospodarstva
i održivog razvoja

Pokrovitelji:



Glavni tradicionalni suorganizator:



HRVATSKE VODE

GENERALNI SPONZOR



Hrvatska komora
inženjera građevinarstva

ZLATNI SPONZORI



GEOKON
WWW.GEOKON.HR

SREBRNI SPONZORI



elektroprojekt
Utemeljeno 1949.



Komunalno društvo
VODOVOD I KANALIZACIJA d.o.o.
za vodoopskrbu i odvodnju Rijeka



SPONZORI / DONATORI



ISTARSKI VODOVOD



VODOVOD PULA



Hidro-expert
za projektiranje i nadzor
51000 Rijeka, Buzaka 5
OIB: 44628301790



BP GROUP

ISBN 978-953-7672-29-4



9 789537 672294