

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet
Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet
Dinaric Hub d.o.o.

**ISTRAŽIVANJE DINAMIKE PROTJEKANJA VODA U SLIVU PAZINČICE I S NJIME
POVEZANIM VODNIM RESURSIMA KRŠKOG VODONOSNIKA SREDIŠNJE ISTRE**



Rijeka, rujan 2020.

Predmet: Istraživanje dinamike protjecanja voda u slivu Pazinčice i s njime povezanim vodnim resursima krškog vodonosnika središnje Istre te mogućih promjena, utjecaja i rješenja opskrbe vodom, zaštite od poplava i zaštite akvatičkih ekosustava

Naručitelj: Hrvatske vode
Ulica grada Vukovara 220
10000 Zagreb

KLASA: 325-01/18-01/02

Evidencijski broj ugovora: 23-18/18

Broj projekta: 061/2018

Izvešće izradili
(Zajednica ponuditelja): Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet
Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet
Dinaric Hub d.o.o.

Voditelj projekta: doc. dr. sc. Josip Rubinić

Vodeći član doc. dr. sc. Josip Rubinić

Sveučilište u Rijeci,
Građevinski fakultet doc. dr. sc. Nino Krvavica
Maja Radišić, mag. ing. aedif.
doc. dr. sc. Bojana Horvat
doc. dr. sc. Igor Ružić
Duje Kalajžić
dr. sc. Ivan Güttler, DHMZ
Goran Gašparac, mag.phys.-geophys., DHMZ

Sveučilište u Zagrebu,
Geotehnički fakultet prof. dr. sc. Ranko Biondić
prof. emeritus Božidar Biondić, dipl.ing.geol.
izv. prof. dr. sc. Hrvoje Meaški

Dinaric Hub d.o.o. dr. sc. Petra Kovač Konrad
Dalibor Jirkal
Branko Jalžić


s podizvoditeljem:

Speleološko društvo „Istra“ Mladen Jekić

Podaci:


Državni hidrometeorološki zavod Zagreb
Hrvatske vode
Vodovod Pula

Voditelj projekta:




doc.dr.sc. Josip Rubinić

Dekanica Građevinskog fakulteta u Rijeci:




prof.dr.sc. Ivana Štimac Grandić



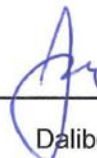
UNIVERSITETA U RIJECI
GRAĐEVINSKI
FAKULTET
1

Dekan Geotehničkog fakulteta
Sveučilišta u Zagrebu:



prof.dr.sc. Ranko Biondić

Direktor Dinaric Hub d.o.o.



Dalibor Jirkal

Dinaric Hub d.o.o.
ZAGREB



Rijeka, rujan 2020.

SADRŽAJ

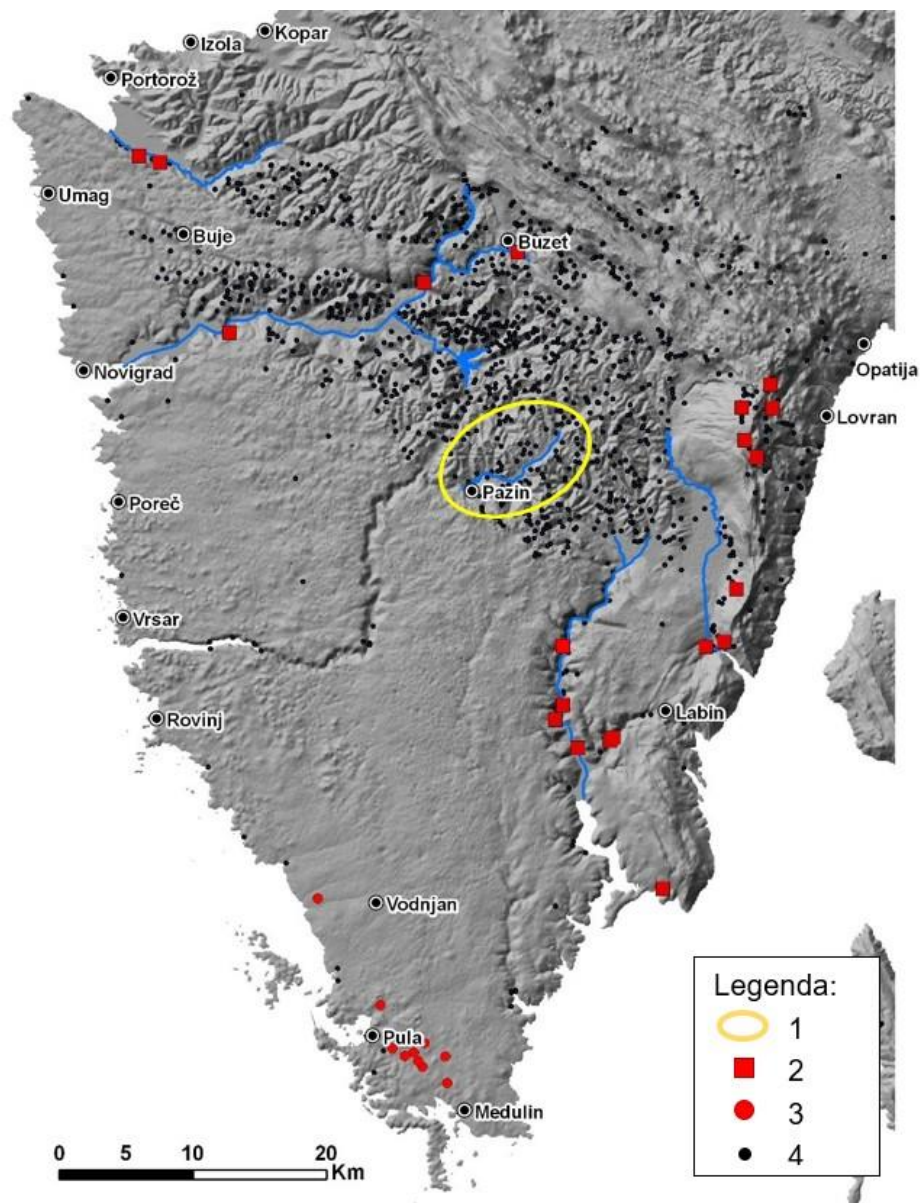
1. UVOD.....	1
2. PLAN I REZULTATI MONITORINGA.....	4
2.1. Uvodno o monitoringu.....	4
2.2. Osnovni monitoring.....	5
2.3. Dopunski monitoring.....	11
2.3.1. Sliv Pazinčice.....	11
2.3.2. Podzemne vode.....	13
2.3.2.1. Pazinska jama.....	14
2.3.2.2. Jame Kobiljak i Bregi.....	16
2.3.2.3. Osnovni rezultati monitoringa.....	18
2.3.3. Izvori u dolini Raše.....	21
3. PREGLED STANJA U SLIVU – OSNOVNE ZNAČAJKE TOKA I SLIVA PAZINČICE.....	26
3.1. Klimatološke prilike sliva Pazinčice i šireg utjecajnog prostora.....	26
3.1.1. Oborine.....	28
3.1.2. Temperature zraka.....	33
3.1.3. Isparavanja.....	35
3.2. Geološki i hidrogeološki opis šireg analiziranog područja.....	37
3.2.1. Opće geološke značajke.....	37
3.2.2. Hidrogeološke značajke.....	39
3.2.3. Opis izvora u dolini Raše povezanih s Pazinčicom i njihovo stanje.....	46
3.3. Hidrografske značajke toka i sliva Pazinčice.....	51
3.3.1. Reljef i rasprostiranje sliva i toka.....	51
3.3.2. Tok Pazinčice.....	58
3.3.3. Pokrov.....	66
3.3.4. Zaštićena područja.....	71
3.4. Analiza globalne vodne bilance sliva Pazinčice i s njom povezanih izvora u dolini Raše.....	73
3.5. Osnovna hidrološka analiza voda u slivu Pazinčice.....	81
3.5.1. Analiza rezultata monitoringa s postaje Dubravica – Pazinčica.....	81
3.5.2. Velike vode.....	88
3.5.2.1. Povijest poplavlivanja Pazinske jame.....	88
3.5.2.2. Probabilistička analiza osmotrenih maksimalnih protoka i volumena vodnih valova ...	93

3.5.2.3.	<i>Analiza maksimalnih protoka u slivu Pazinčice</i>	97
3.5.3.	Srednje vode.....	100
3.5.4.	Male vode	103
3.6.	Modeliranje pojava velikih voda u slivu Pazinčice	105
3.6.1.	Metodološke postavke provedenih modeliranja velikih voda	105
3.6.2.	Modeliranje povijesno zabilježenih vodnih valova na profilu Dubravica.....	109
3.6.3.	Modeliranje vjerojatnosti pojave vodnih valova na karakterističnim profilima u slivu Pazinčice	118
3.6.4.	Usporedba rezultata proračuna maksimalnih protoka.....	126
3.7.	Hidrološka analiza izvorišnih voda u slivu Raše	127
3.7.1.	Analiza rezultata monitoringa s postaje Rakonek	127
3.7.2.	Analiza rezultata monitoringa s ostalih izvorišta u slivu Raše	133
3.7.3.	Analiza međudnosa hidroloških prilika u slivu Pazinčice i izvorištima u dolini Raše.....	134
3.7.4.	Pojave mutnoće na izvoru Rakonek	138
3.7.5.	Modeliranje pojava mutnoća na izvoru Rakonek.....	141
3.8.	Značajke ponora Pazinčice i utjecajnih vodnih pojava.....	149
3.8.1.	Uloga ponora Pazinčice.....	149
3.8.2.	Speleološke značajke Pazinske jame i obližnjih speleoloških lokaliteta	153
3.8.3.	Stanje naplavina u ponoru Pazinčice	168
3.8.4.	Geometrija predponorne zone Pazinske jame	172
3.8.5.	Analiza kapaciteta ponora Pazinčice.....	175
4.	PROCJENA UTJECAJA KLIMATSKIH PROMJENA NA VODNI REŽIM PAZINČICE I S NJOME POVEZANIH VODNIH RESURSA	184
4.1.	Općenito o utjecajima klimatskim promjenama na vodne resurse	184
4.2.	Klimatske projekcije	187
4.2.1.	Općenito o klimatskom modeliranju i metodologija	187
4.2.2.	Rezultati provedenih klimatskih predikcija.....	189
4.2.2.1.	<i>Vremenski nizovi srednjih godišnjih temperatura zraka i godišnjih količina oborine ..</i>	189
4.2.2.2.	<i>Vremenski nizovi srednjih sezonskih temperatura zraka i sezonskih količina oborine</i> <i>192</i>	
4.2.2.3.	<i>Srednji godišnji hodovi temperature zraka i količine oborine</i>	196
4.2.2.4.	<i>Linearni trendovi srednje godišnje temperature zraka i godišnje količine oborine</i>	199
4.3.	Hidrološke projekcije utjecaja klimatskih promjena na vodnu bilancu sliva Pazinčice i izvora Rakonek i režima otjecanja.....	201
4.3.1.	Hidrološke projekcije vodne bilance za sliv Pazinčice.....	203
4.3.2.	Hidrološke projekcije vodne bilance za izvor Rakonek	207

4.4.	Hidrološke projekcije utjecaja klimatskih promjena na pojavnost velikih voda u slivu Pazinčice	211
5.	POTENCIJALNA TEHNIČKA RJEŠENJA I UPRAVLJANJE VODAMA U SLIVU PAZINČICE	216
5.1.	Korištenje voda u slivu Pazinčice	216
5.2.	Osiguranje ekološki prihvatljivog protoka	218
5.3.	Zaštita od poplava u slivu Pazinčice	223
5.3.1.	Čišćenje Pazinske jame	223
5.3.2.	Redukcija vodnih valova u slivu Pazinčice	229
5.3.3.	Odvodnja dijela velikih voda izvan sliva Pazinčice	233
5.3.4.	Prilagodba velikim vodama s unaprjeđivanjem metoda ranog uzbunjivanja	239
6.	ZAKLJUČAK I PRIJEDLOZI	240
7.	LITERATURA	245

1. UVOD

Pazinčica (ponegdje znana i kao Pazinski potok, Patok ili Fojba) je najveći površinski vodotok središnje Istre (Slika 1.1) koji nije neposredno hidrografski povezan s morem, već završava u ponornoj zoni nadaleko poznate Pazinske jame. Radi se o području same ponorske zone i njenog kanjonskog predprostora koja je zaštićena kategorijom Značajnog krajobraza i odlikuje se iznimnom vrijednošću i ljepotom (Slika 1.2). Tim najvrjednijim zaštićenim područjem upravlja JU Natura Histrica. Cjelokupni sliv Pazinčice rasprostire se na području Grada Pazina i Općine Cerovlje, koje nastoje zaštititi i valorizirati izražene prirodne vrijednosti Pazinčice i na ostalim dijelovima njezina sliva.



Slika 1.1. Položaj sliva Pazinčice (1) u odnosu na hidrografsku mrežu najvažnijih vodotoka, postojećih zahvata podzemnih voda za vodoopskrbu i tehnološke vode (2), uglavnom napuštenih bunara za vodoopskrbu na području Južne Istre (3) te ostalih izvora registriranih u hidrogeološkom katastru voda na području Istre u Hrvatskoj (4)



Slika 1.2. Početak podzemnog toka Pazinčice – Pazinska jama

Prema Ugovoru od 14. ožujka 2018., odnosno 04. travnja 2018. godine kada je potpisan od zadnjeg člana zajednice ponuditelja, sklopljenom između Hrvatskih voda kao naručitelja (klasa 325-01/17-10/0000159; ur.br. 374-23-2-18-7) i zajednice izvršitelja Građevinskog fakulteta u Rijeci (ur.br. 325-01/18-01/02), Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (klasa 303-02/17-02/123; ur.br. 2186-73-01-18-5) i Dinaric Hub d.o.o. iz Zagreba, zajednica ponuditelja je preuzela obvezu za izradu studije "Istraživanje dinamike protjecanja voda u slivu Pazinčice i s njime povezanim vodnim resursima krškog vodonosnika središnje Istre te mogućih promjena, utjecaja i rješenja opskrbe vodom, zaštite od poplava i zaštite akvatičkih ekosustava". Ta je studija početak realizacije Plana očuvanja i valorizacije područja sliva Pazinčice, za čiju je postupnu realizaciju definiran načelni Projektni zadatak (Bienco, 2016), prihvaćen od strane Grada Pazina odlukom njegovog Gradskog vijeća (Službene novine Grada Pazina i Općina Cerovlje, Gračišće, Karojba, Lupoglav, Motovun i Sveti Petar u Šumi 30/2016), kao i Općine Cerovlje odlukom njenog Općinskog vijeća (Službene novine Grada Pazina i Općina Cerovlje, Gračišće, Karojba, Lupoglav, Motovun i Sveti Petar u Šumi 36/2016). Realizacija studije obuhvaćena je točkama 3.1 te 3.6 predmetnog načelnog projektnog zadatka iz 2016. godine.

Cilj ove studije je utvrđivanje postojećeg stanja sliva Pazinčice, u dijelu koji se odnosi na klimatološke, hidrološke i hidrogeološke značajke sliva i s Pazinčicom povezanih vodnih resursa, a posebno u smislu utvrđivanja kapaciteta prihvata voda Pazinske jame. To je posebno važno za buduće aktivnosti vezane uz buduća Rješenja uređenja sliva i toka Pazinčice (točka 3.7. načelnog projektnog zadatka, kao i rješenja vezana uz problematiku odvodnje i pročišćavanja otpadnih i oborinskih voda - točka 3.2).

Predmetni zadatak sastojao se u prikupljanju svih relevantnih podloga i rezultata prethodnog sustava redovnog monitoringa vezanih uz analiziranu tematiku. To je nadopunjeno i speleološkim istraživanjima te uspostavom dopunskog hidrološkog monitoringa na odabranim vodnim pojavama Pazinčice i širem utjecajnom prostoru. Razdoblje provedbe tog dopunskog monitoringa bilo je od svibnja 2018. do ožujka 2020., s time da su mjerni uređaji (CTD diveri) bili aktivni u razdoblju od

svibnja 2018. do listopada 2019. Tijekom tog razdoblja su zabilježene i situacije pojave relativno značajnih velikih voda s plavljenjem Pazinske jame. To je bilo iznimno povoljno za provedbu planiranih istraživanja, te obradu u interpretaciji rezultata svih raspoloživih relevantnih podloga. U sklopu izrade predmetne studije provedena su i hidrogeološka sagledavanja, kao i preliminarna ocjena mogućih rješenja zaštite od velikih voda Pazinčice koje za posljedicu imaju pojave poplavlivanja Pazinske jame i dijela njezina kanjonskog predprostora čak i do 2-3 km uzvodnije.

Vrijednost Pazinčice i njenog ponora prepoznata je od strane niza istraživača njenih značajki, počev od Martela još na kraju 19 stoljeća. Kao posebno vrijedan dokument i u smislu zapisa o povijesti i rezultatima tih istraživanja na Pazinčici i njenjoj prirodnoj i kulturno-povijesnoj baštini posebno vrijedi istaknuti monografiju Nevine Feresini (2012), prvotno izdanu 30 godina ranije na talijanskom jeziku u Trstu.

Vode Pazinčice putem njene ponorske zone prihranjuju središnji istarski vodonosnik, te utječu kako na dinamiku njihova kolebanja, tako i na dinamiku njihova istjecanja po rubnim dijelovima toga vodonosnika, u slivu rijeke Raše. Tu se nalaze i kaptirani vodozahvati – izvori Rakonek i Sv. Anton, kao i niz drugih stalnih i povremenih izvora koji su podzemnim hidrografskim vezama povezani s ponorom Pazinčice. Uz količinska obilježja, vode Pazinčice utječu i na kakvoću voda koje istječu na spomenutim izvorima s desne obale Raše, poglavito u smislu pojave iznimnih mutnoća.

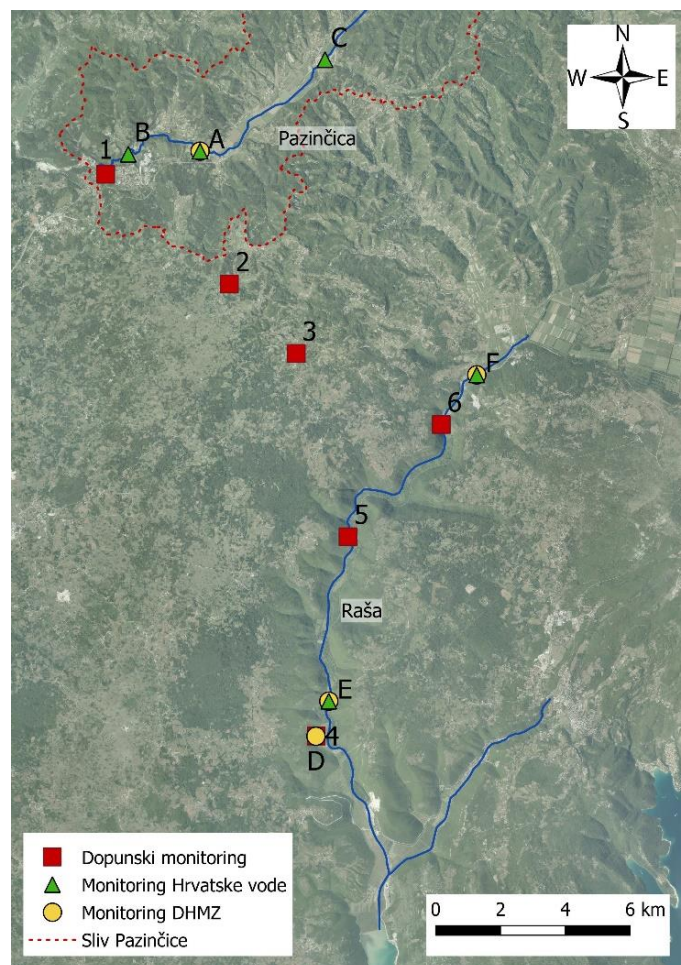
U predmetnoj studiji prikazani su trendovi hoda karakterističnih hidroloških pokazatelja, i to kako tijekom proteklog povijesnog razdoblja, tako i u budućnosti, na temelju klimatoloških i hidroloških predikcija i modeliranja. Pri klimatološkim predikcijama korišteni su podaci otvorenog pristupa, i to RegCM4 simulacije dostupne preko baze Dabar (<https://repositorij.meteo.hr/>) dobivene u sklopu projekta „Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama (Broj ugovora: TF/HR/P3-M1-O1-010)” koji je financiran sredstvima iz Prijelaznog instrumenta tehničke pomoći EU na čemu se zahvaljujemo. Uz to, korištene su i KNMI-RACMO22E EURO-CORDEX simulacije dostupne preko baze ESGF (<https://esg-dn1.nsc.liu.se/projects/esgf-liu/>), za koje također dugujemo zahvalu (*We acknowledge the World Climate Research Programme's Working Group on Regional Climate and Working Group on Coupled Modelling, the former coordinating body of CORDEX, and the responsible panel for CMIP5. We also acknowledge the Earth System Grid Federation infrastructure, an international effort led by the U.S. Department of Energy's Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison, the European Network for Earth System Modelling, and other partners in the Global Organisation for Earth System Science Portals (GOESSP).*

Zahvaljujemo na pomoći u osiguranju podloga, vrijednih informacija i svim drugim sudionicima u pripremi i realizaciji ovoga projekta, kako od strane samih naručitelja projekta – Hrvatskih voda, tako i Grada Pazina, Općine Cerovlje, DHMZ-a, Vodovoda Pula, članovima građanske inicijative Naš Potok, kao i brojnim drugim mještanima na širem području Pazinštine. Vjerujemo da će sama studija i u njoj sadržane podloge biti temelj, pa i pokretač aktivnosti za ostale dijelove projektnog zadatka za izradu Plana očuvanja i valorizacije područja sliva Pazinčice (Bienco, 2016), oko kojega je ostvaren veliki konsenzus svih zainteresiranih subjekata vezanih uz prostor sliva Pazinčice.

2. PLAN I REZULTATI MONITORINGA

2.1. Uvodno o monitoringu

Glavnina obrada predmetne studije temelji se na obradama klimatoloških i hidroloških podataka, i to kako vezanih uz osnovni, dosadašnji dugogodišnji monitoringa DHMZ-a, tako i podataka koji su prikupljeni tijekom novo uspostavljenog monitoringa u sklopu realizacije predmetnog projekta. Uz podatke DHMZ-a, korišteni su i podaci iz arhive Vodovoda Pula (vezanih uz izvor Rakonek), kao i Hrvatskih voda (rezultati vodomjerenja na izvorima u dolini rijeke Raše). Iako je detaljan prikaz raspoloživih podataka s pojedinih postaja i rezultata njihovih obrada dan u poglavlju 3, u okviru ovog poglavlja koji govori o monitoringu dan je prikaz mreže opažanja, kao i osnovnih opaženih vrijednosti koje su provedene u okviru programa dopunskog monitoringa. Naime, rezultati osnovnog monitoringa koga provodi DHMZ nalaze se i dostupni su u njihovim bazama podataka, dok su podaci dopunskog monitoringa izvorno rađeni za potrebe izrade predmetnog dokumenta i nisu do sada nigdje drugdje bili sadržani. Prikaz lokacija postaja na kojima je proveden hidrološki monitoring dan je na Slici 2.1.1.



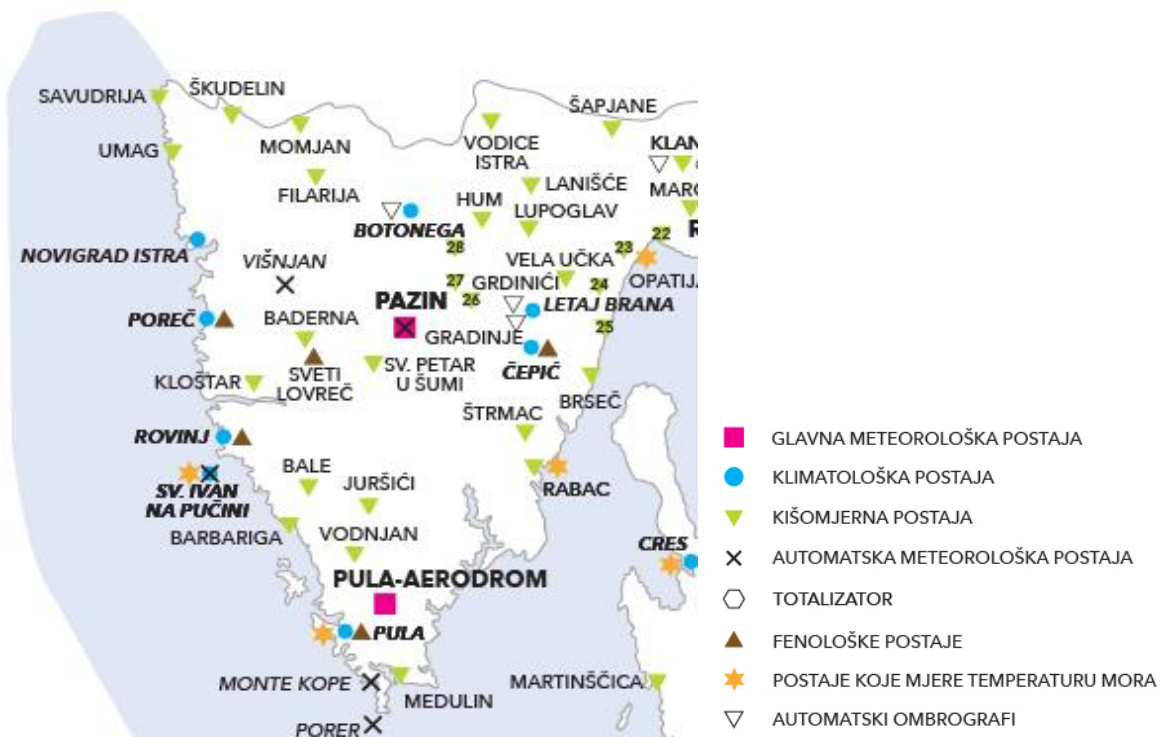
Slika 2.1.1. Prikaz lokacija osnovnog: Dubravica-Pazinčica (A), Most Rijavac – Pazinčica (B), Pazinski potok - Cerovlje ciglana (C), Rakonek (D), Mutвица most – Raša (E), Potpićan-Raša (F) i dopunskog monitoringa: Pazinska jama (1), jama Kobiljak (2), jama Bregi (3), Rakonek (4), Sv. Anton (5) i Bolabani (6)

Osnovni hidrološki monitoring u slivu Pazinčice predstavlja hidrološka postaja Dubravica koja se nalazi na željezničkom mostu neposredno uzvodno od prirodnog kamenog praga u koritu Pazinčice (249,59 m n.m.). Profil se nalazi izvan utjecaja uspora ponorske zone koja u izuzetnim situacijama pojava velikih voda zna i poplaviti najniže dijelove Pazina. Postaja je opremljena i automatskom dojavom vodostaja za potrebe DHMZ-a i Hrvatskih voda koje imaju monitoring s daljinskom dojavom za potrebe obrane od poplava i na lokalitetima Most Rijavec i Cerovlje – ciglana. U slivu Raše osnovnim hidrološkim monitoringom DHMZ-a obuhvaćen je izvor Rakonek, koja je najznačajniji vodni resurs na području Raše, nalazi se uz desnu obalu rijeke Raše. No, veći dio podzemnih voda koji se drenira iz sliva Pazinštine prema izvorima na desnoj obali Raše istječe na hidrološki nekontroliranim lokalitetima, a nalazi se većinom između hidroloških postaja osnovne mreže DHMZ-a Potpićan – Raša i Most Mutvica – Raša.

Dopunski hidrološki monitoring na području izvora u dolini Raše, u Pazinskoj jami, kao i jamama Kobiljak i Bregi uspostavljen je u okviru predmetnog projekta kao dopuna osnovnom hidrološkom monitoringu. Provođenje monitoringa započelo je neposredno po početku projekta postavljanjem automatskih mjerača (CTD Divera) za kontinuirana praćenja razine, temperature i električne vodljivosti vode.

2.2. Osnovni monitoring

Monitoring klimatoloških i hidroloških prilika na području Istre ima relativno dugačku tradiciju – tako meteorološka postaja Pula djeluje od 1873., a Rovinj od 1878. i meteorološka postaja Pazin osnovana je još u drugoj polovini 19. stoljeća, 1875, ali s dosta prekida. Bila je aktivna u razdoblju 1875.-1877., 1884.-1890. te počev od 1893. Nažalost, ti su podaci nedostupni, i praktički su na raspolaganju tek iz razdoblja nakon II. svjetskog rata, kada je nakon prekida uzrokovanog ratnim zbivanjima, klimatološka postaja Pazin (291 m n.m.) započela s radom u travnju 1949.g., te ima status „glavne meteorološke postaje“. Od 1963.g. ta je postaja kompletirana i ombrografom za kontinuirano praćenje oborina. U slivu Pazinčice, u mreži DHMZ-a, djeluje i ombrografska postaja Grdinići (425 m n.m.), osnovana 1968.g. na rubom dijelu sliva prema slivu Mirne, kao i kišomjerna postaja Cerovlje (427 m n.m.), osnovana još 1971.g., ali s kontinuiranim motrenjima tek od 1997.g. Uz te postaje, na širem području sliva Pazinčice aktivna je i automatska postaja Pazin – Kolodvorska ul., čiji se sirovi osmotreni podaci on-line objavljuju na web stranicama amaterskih udruga građana zainteresiranih za meteorologiju (<https://www.istramet.hr/>, <https://www.neverin.hr/>). Prikaz aktivne mreže meteoroloških praćenja DHMZ-a na području Istre dan je na Slici 2.2.1.

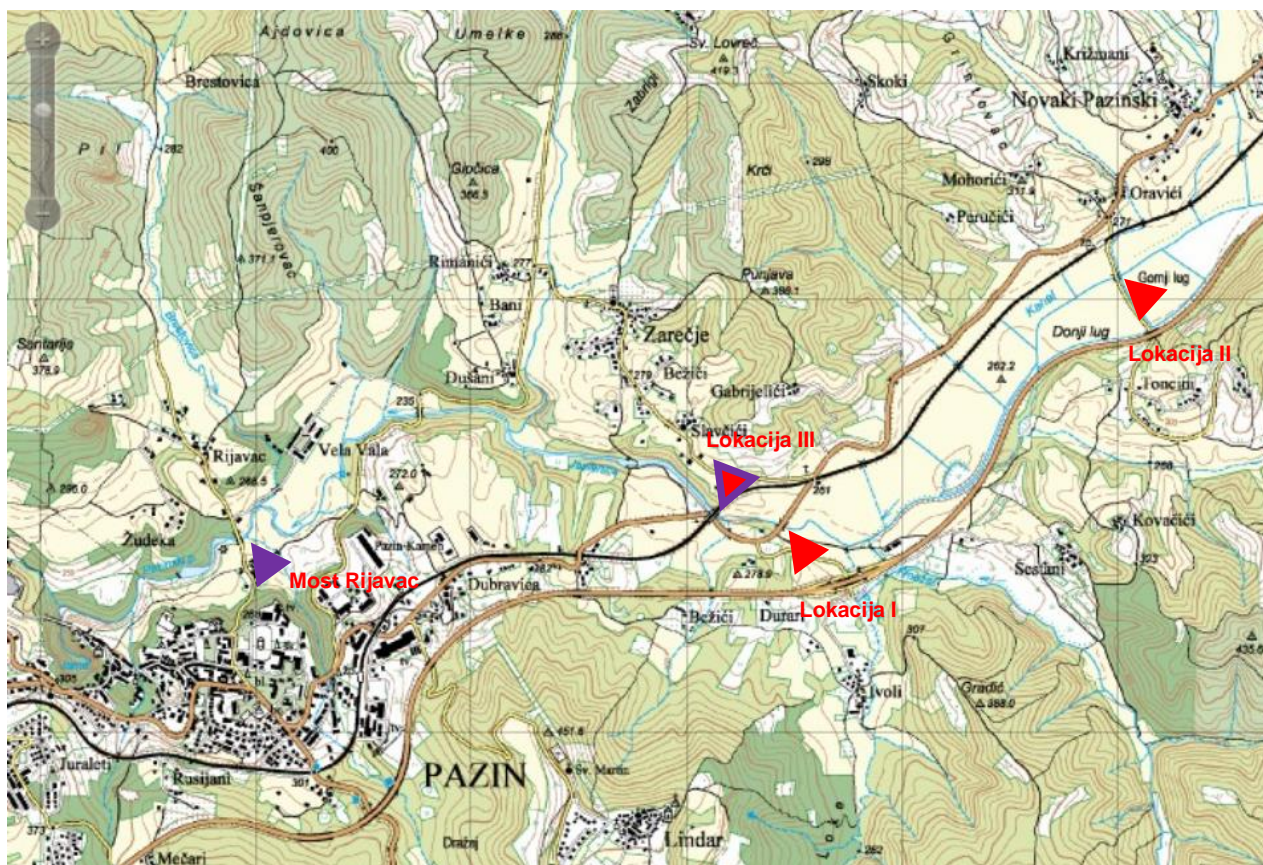


Slika 2.2.1. Prikaz mreže meteoroloških opažanja na području Istre (https://klima.hr/k4/mreza_postaja.jpg)

Što se pak tiče hidroloških postaja, prva kontinuirana hidrološka motrenja u Istri uspostavljena su 1896. na postajama Portonski most na Mirni, te Pićan na Raši (kasnije po novom naselju postaja preimenovana u Potpićan). No, u slivu Pazinčice, prema raspoloživim informacijama sustavna su mjerenja uspostavljena tek puno kasnije, tek iza II. svjetskog rata, kada je 4.8.1954.g. osnovana vodokazna postaja Dubravica (Slika 2.2.2) i to na lokaciji cestovnog mosta (Lokacija I). Trinaest godina kasnije uspostavljena je limnigraf Novaki (Lokacija II) s namjerom da zamijeni nestabilan profil na Lokaciji I. No, pokazalo se da i na tom profilu nisu stabilni konsumpcijski odnosi, te je ponovno 1970.g. osnovana nova hidrološka postaja na lokaciji željezničkog mosta (Lokacija III), početno kao vodokazna (s kotom „0“ 250,93 m n.m.), a od 9.9.1971. opremljena i limnigrafom od kad je kota „0“ vodokazne letve 249,59 m n.m. Katastrofalni vodni val je dne 21.10.1993. isčupao i odnio limnigraf, tako da su do obnove limnigrafa 18.4.1997. nastavljena samo vodokazna očitavanja. Radi se o stabilnom hidrološkom profilu s kamenim koritom (Slika 2.2.3) koji je izvan zone utjecaja uspora u poplavnoj ponorskoj zoni Pazinčice.

Od dne 18.1.2008. uspostavljena je i daljinska dojava vodostaja s te postaje kojom upravlja DHMZ (Slika 2.2.3 desno), a ista se nalazi i u sustavu daljinske dojave vodostaja Hrvatskih voda u kojoj je i postaja Most Rijavac u Pazinu (Slika 2.2.4).

Kraće je vrijeme bila aktivna i vodokazna postaja Lovrečići na Borutskom potoku (1971.-1975.), uzvodno od ušća Lipe, ali s puno problema u radu pa su motrenja nakon nekoliko godina prekinuta i nisu sadržana u banci podataka DHMZ-a već u nekim internim izvještajima za ondašnjeg naručitelja – OVP iz Rijeke.



Slika 2.2.2. Prikaz promjena položaja hidrološke postaje Dubravica na Pazinčici (Lokacije I-III), te telemetrijske dojave na mostu Rijavac i Dubravici

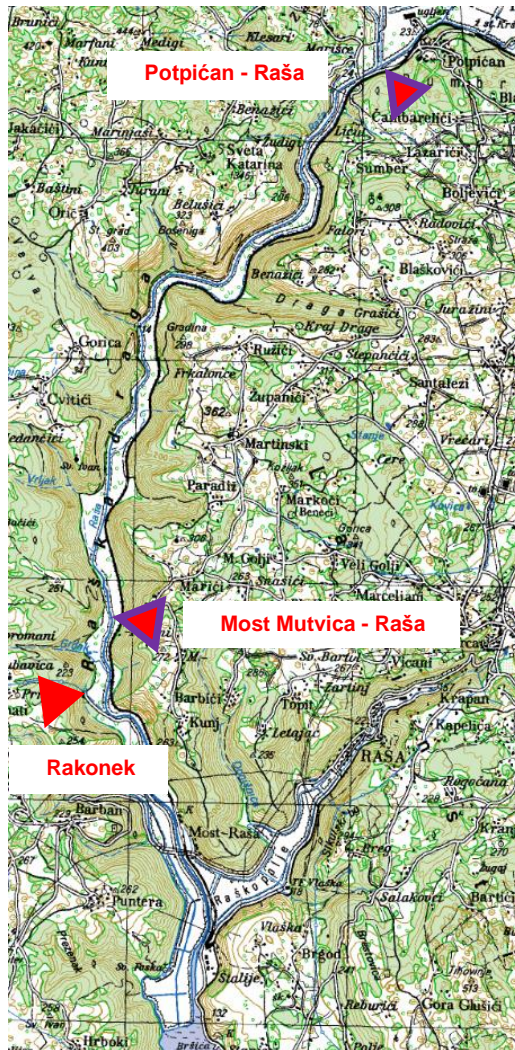


Slika 2.2.3. Prikaz lokacije hidrološke postaje Dubravica: lijevo – pogled nizvodno od postaje, desno - limnigraf s automatskom dojavom



2.2.4. Telemetrijska postaja Hrvatskih voda Most Rijavac na Pazinčici

Za potrebe hidroloških sagledavanja u okviru predmetne studije korišteni su i podaci s dijela sliva Raše, na dionici toka Raše nizvodno od mosta u Potpićnu. Radi se o području na kome Rašu prihranjuje niz desnoobalnih krških izvora, čije se vode napajaju iz područja ponorske zone Pazinčice, i na kome se nalazi nekoliko hidroloških postaja DHMZ-a (Slika 2.2.5). Na tom su području na toku Raše aktivne hidrološke postaje Potpićan (Slika 2.2.6) i Most Mutvica (Slika 2.2.7), koje su u sustavu automatske dojave DHMZ-a i Hrvatskih voda, te postaja Rakonek (Slika 2.2.8), na istoimenom izvorištu uključenom u vodoopskrbni sustav Vodovoda Pula.



Slika 2.2.5. Prikaz položaja hidrološki postaja na utjecajnom području rijeke Raše



Slika 2.2.6. Profil hidrološke postaje Potpićan – Raša



Slika 2.2.7. Profil hidrološke postaje Mutvica most - Raša

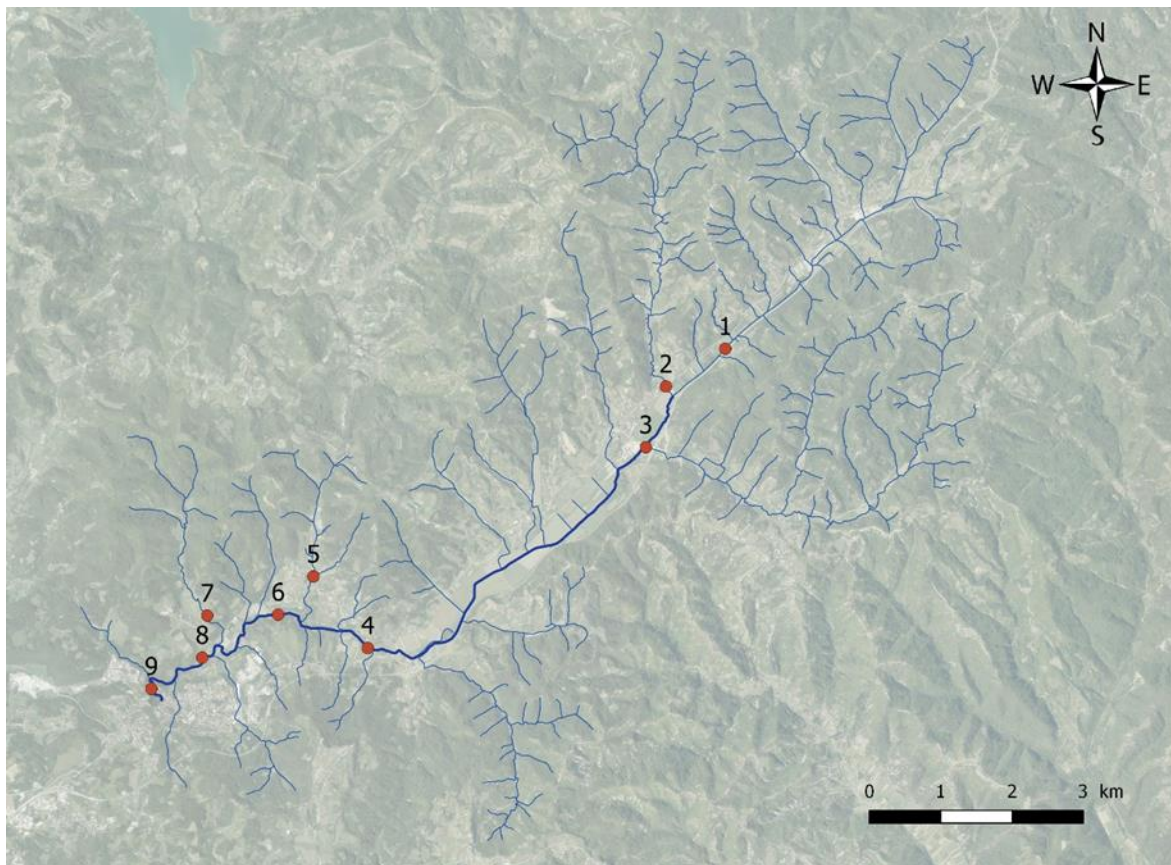


Slika 2.2.8. Pogled na preljevni kanal izvorišta Rakonek (lijevo) i crni bazen u kome je postavljen limnigraf (desno)

2.3. Dopunski monitoring

2.3.1. Sliv Pazinčice

Uz osnovni monitoring na hidrološkim postajama, kao i dopunski monitoring na speleološkim objektima, u sklopu dopunskog monitoringa na slivu Pazinčice provedene su i tri serije simultanih vodomjerenja u različitim hidrološkim prilikama (iznimno male vode, prosječno male vode te više male vode) u svrhu ocjene gubitaka vode na poniranje. Prema dobivenom projektnom zadatku bilo je potrebno napraviti vodomjerenja na 5 hidroloških profila na dionici toka između Zarečkog krova i Ponora Pazinčice u cilju utvrđivanja hidroloških međuodnosa pri malim vodama kad se javljaju i gubici. No vodomjerenja su proširena i na uzvodniji dio kako bi se analizirali hidrološki odnosi malih voda u Pazinčici i njenim pritokama. Mjerenja su, tijekom tri serije simultanih vodomjerenja, provedena na devet profila: Borutski potok, Lipa, Rakov potok, Dubravica, most Dušani, most Rijavac, uzvodno od ulaza u jamu, pritoku kod Zarečja te Brestovac (Slika 2.3.1). Prva serija vodomjerenja provedena je 9.5.2018., druga 28.3.2019. i treća 17.3.2020.



Slika 2.3.1. Vodomjerenja na hidrološkim profilima: 1 – Borutski potok, 2 – Lipa, 3 – Rakov potok, 4 – Dubravica, 5 – Pritok kod Zarečja, 6 – most Dušani, 7 – Brestovac, 8 – most Rijavac, 9 – uzvodno od ulaza u jamu

U tablici 2.3.1 dani su rezultati provedenih vodomjerenja, dok je tablici 2.3.2 dan prikaz iskazane razlike u protocima između pojedinih profila. Tijekom druge serije vodomjerenja, vodostaj je bio

jako nizak te su pritoci kod Zarečja i Brestovac bili potpuno suhi. Utvrđeno je da na dionici između h.p. Dubravica i mosta Dušani tijekom druge i treće serije vodomjerenja nisu zapaženi gubici. No na dionici između mosta Dušani i mosta Rijavac prisutni su gubici. Na najnižvodnijoj dionici između mosta Rijavac i profila neposredno uzvodno od ulaza u jamu, tijekom prve i druge serije vodomjerenja su bili prisutni gubici, no tijekom treće, kada su bili i najveći protoci Pazinčicom, oni nisu detektirani, već je na analiziranoj dionici toka zabilježen prirast protoka. Na zabilježene rezultate sigurno su utjecali i problemi s točnošću mjerenja zbog vrlo nepravilnih profila i relativno malih količina vode, neregistriranih ispuštanja otpadnih voda (prilikom vodomjerenja 28.3.2019. uočen dotok otpadnih voda u ponorskoj zoni prije utoka u ponor) i eventualno zahvaćenih količina voda. No, nesumnjivo je da su, u uvjetima tečenja malih voda koritom Pazinčice, gubici prisutni samo pri iznimno malim vodama, reda veličine do 100-200 L/s, kada se gubi do oko 50% voda koje dotječu koritom Pazinčice u odnosu na protoke zabilježene na njenom glavnom toku na profilu hidrološke postaje Dubravica. Pri većim protocima od 200-tinjak L/s gubici se ne zapažaju, odnosno prirasti dotoka su veći od mogućih gubitaka na toj najnižvodnijoj dionici toka Pazinčice. No, pri pojavi velikih voda i poplavlivanja kanjonskog dijela toka Pazinčice prije njezina utoka u ponor, moguće je da se javljaju gubici i pri puno većim dotocima Pazinčicom, jer su i puno značajniji gradijenti voda Pazinčice prema podzemlju.

Tablica 2.3.1. Rezultati triju serija simultanih vodomjerenja u slivu Pazinčice

Datum		9.5.2018.	28.3.2019.	17.3.2020.
Vodostaj Dubravica (cm)		28	23	40
Redni broj	Mjerno mjesto	Protok (m ³ s ⁻¹)	Protok (m ³ s ⁻¹)	Protok (m ³ s ⁻¹)
1	Borutski potok	0,023	0,013	0,060
2	Lipa	0,018	0,0068	0,045
3	Rakov potok	/ ¹	0,0095	0,052
4	Dubravica	0,099	0,056	0,281
5	Pritok kod Zarečja	0,003	SUHO	0,010
6	Most Dušani	/ ¹	0,066	0,303
7	Brestovac	0,003	SUHO	0,0024
8	Most Rijavac	0,098	0,055	0,293
9	Uzvodno od ulaza u jamu	0,051	0,042	0,317

¹ – rezultati provedenog vodomjerenja poništeni zbog lošeg profila i iznimno malih brzina tečenja

Tablica 2.3.2. Razlika u protocima između lokacija vodomjerenja nizvodno od Dubravice

	9.5.2018.	28.3.2019.	17.3.2020.
	Protok (m ³ s ⁻¹)	Protok (m ³ s ⁻¹)	Protok (m ³ s ⁻¹)
Dubravica + Pritok kod Zarječja	0,102	0,056	0,291
Most Dušani - (Dubravica + Pritok kod Zarječja)		0,01	0,012
Most Dušani + Brestovac		0,066	0,305
Most Rijevec - (Most Dušani + Brestovac)		-0,011	-0,012
Uzvodno od ulaza u jamu - Most Rijavac	-0,047	-0,013	0,024

Što se pak tiče hidroloških međudnosa dotoka glavnih izvorišnih ogranaka Pazinčice u gornjem dijelu sliva u odnosu na protoke Pazinčice na profilu h.p. Dubravica, na temelju provedenih vodomjerenja utvrđeno je da su oni u domeni malih voda vrlo stabilni tijekom svih triju serija vodomjerenja (Tablica 2.3.3), te se kod Borutskog potoka kreću oko 21-23%, Rakovog potoka 17-18,5%, a Lipe koja ima najmanje dotoka oko 12-18%.

Tablica 2.3.3. Međudnosi dotoka malih voda ogranaka Pazinčice u odnosu na protoke na h.p. Dubravica

		9.5.2018.	28.3.2019.	17.3.2020.
1	Borutski potok	23,2%	23,2%	21,4%
2	Lipa	18,2%	12,1%	16,0%
3	Rakov potok	-	17,0%	18,5%

2.3.2. Podzemne vode

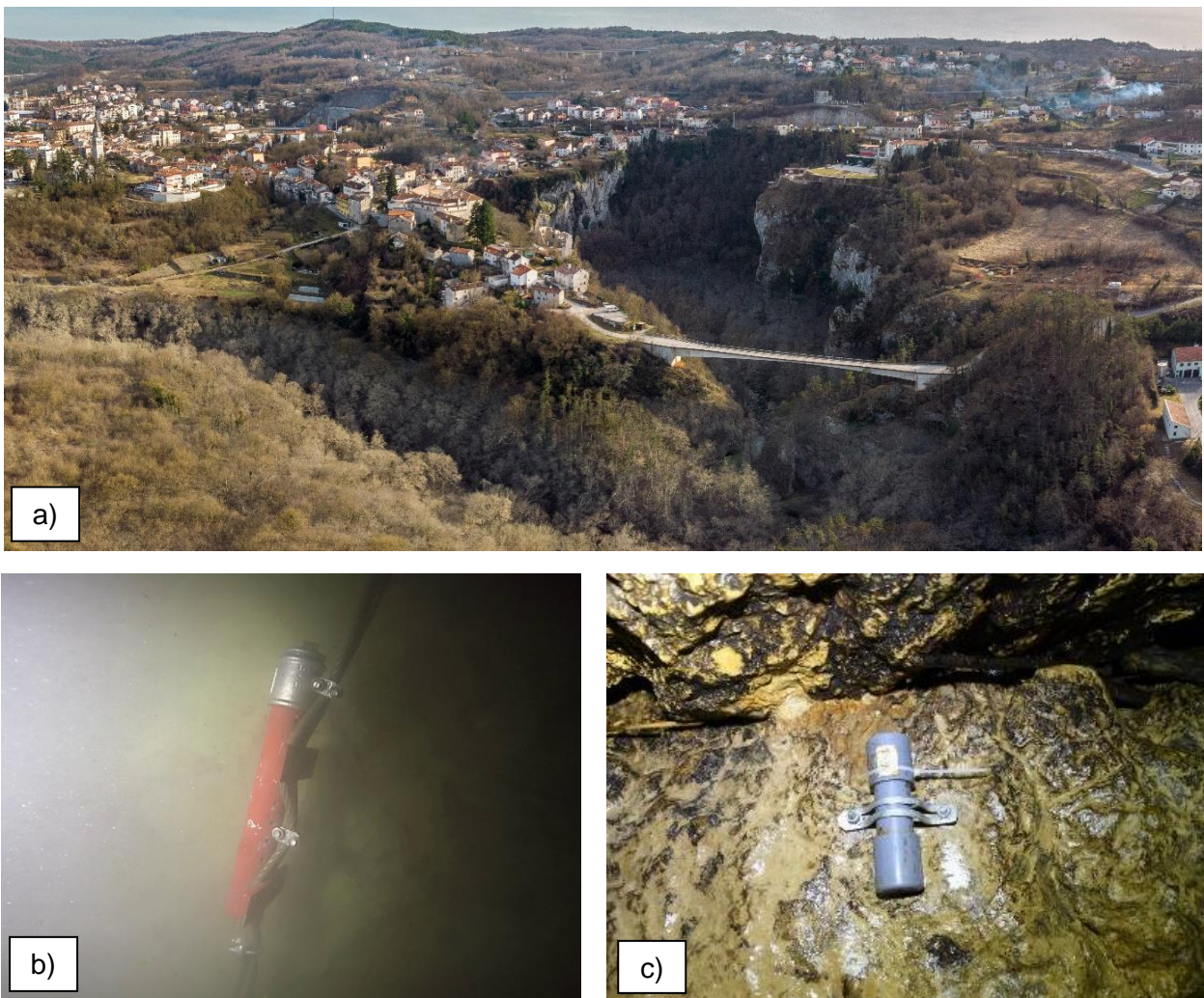
Kako bi se temeljitije sagledali hidrološki međudnosi u slivu Pazinčice, posebno u kontekstu sagledavanja kapaciteta njene ponorske zone, bilo je nužno uz postojeći monitoring površinskih voda, uspostaviti i monitoring podzemnih voda. Za to je bilo najprikladnije odabrati speleološke objekte koji se nalaze u hidrološki aktivnim zonama. Uz sam ponor Pazinčice/Pazinsku jamu, odabrane su još dvije jame na Pazinštini, povremeni ponori, jame Kobiljak (45°12'36" N, 13°58'48" E) i Bregi (45°11'29" N, 14°00'24" E) (Slika 2.3.2) koji se pružaju na području između ponora Pazinčice i izvora Sv. Anton u dolini rijeke Raše. Ideja je bila promatrati dinamiku kolebanja podzemnih voda u široj zoni oko ponora Pazinčice, kako bi se utvrdila njihova međuovisnost.



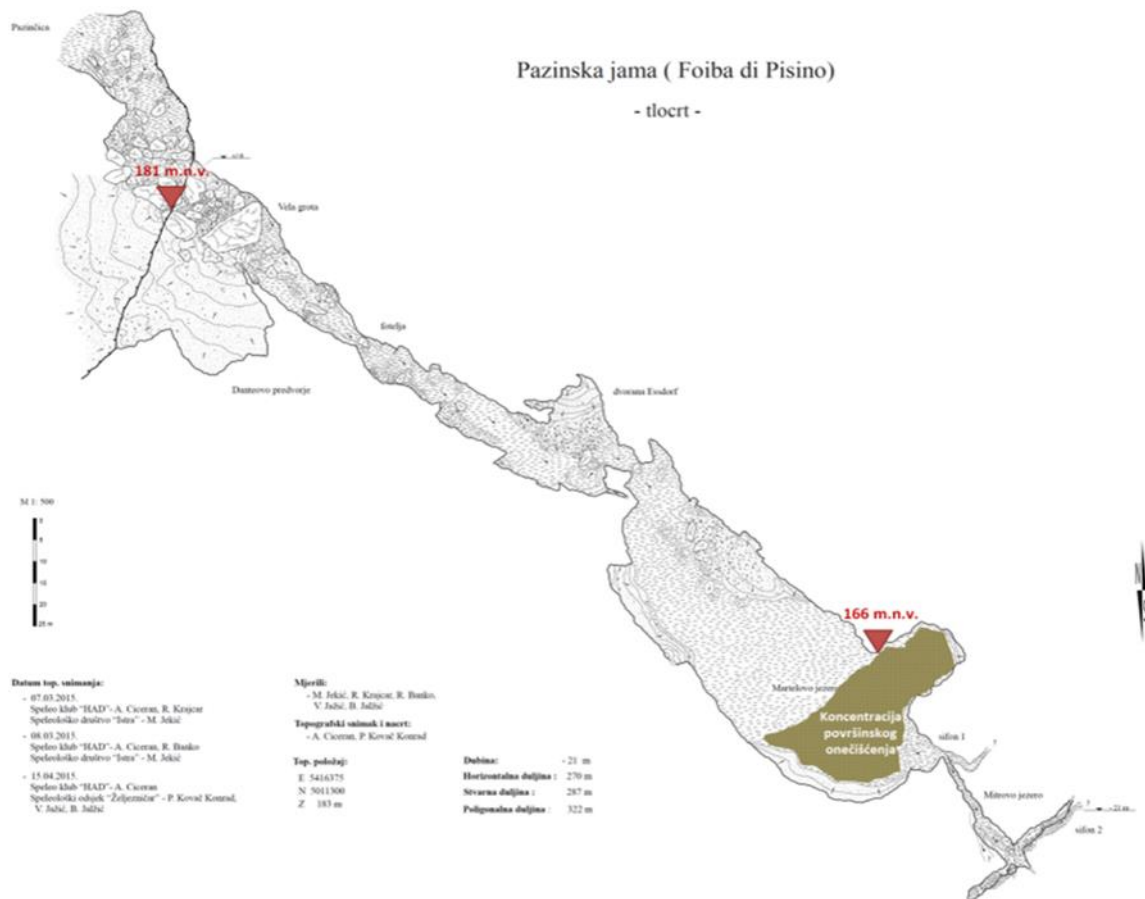
Slika 2.3.2. Prikaz lokacija ulaznih dijelova jama Kobiljak (lijevo) i Bregi - Marfanska jama (desno)

2.3.2.1. Pazinska jama

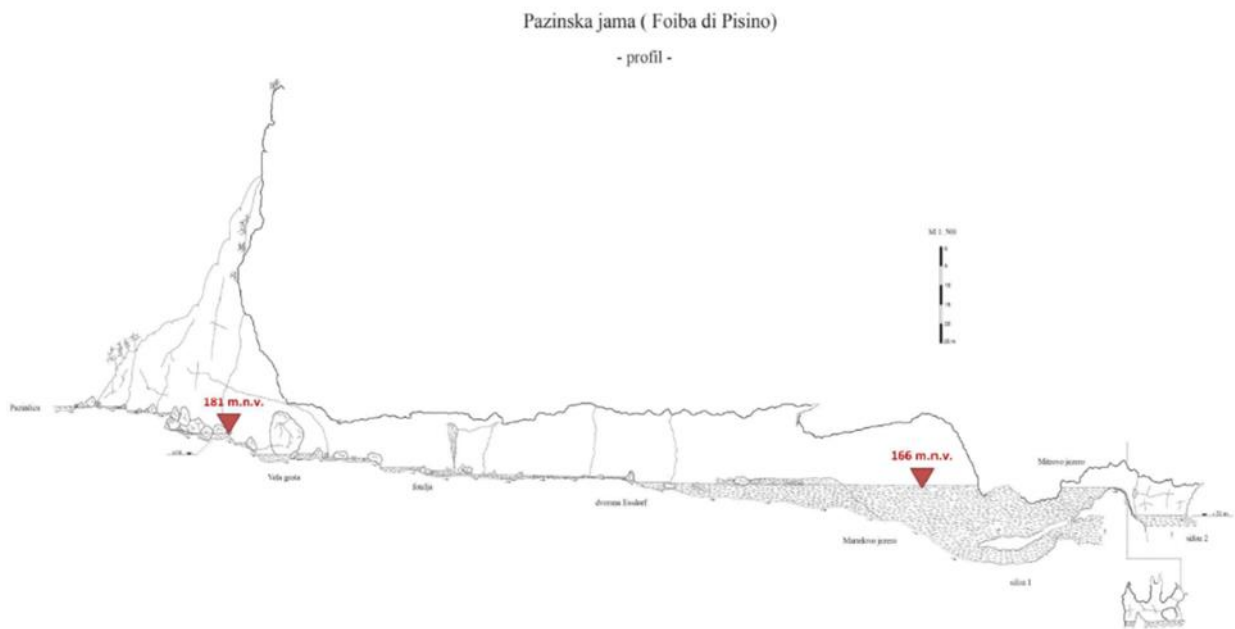
U ponoru – Pazinskoj jami (Slika 2.3.3 a) postavljene su dvije mjerne sonde za praćenje tlaka/razina vode, temperature i električne vodljivosti. Prvi mjerni instrument (Slika 2.3.3 b) postavljen je pod vodu na oko 1m dubine u odnosu na zatečeni nivo podzemnog jezera (166 m n.m.). Instrument je fiksiran na sajlu koja je s jedne strane pričvršćena sidrišnim vijcima na kamen uronjen u vodu, a s druge strane sidrišnim vijcima na stijenu izvan vode. Na taj način lako je uočiti mjesto gdje je sajla sa mjernim instrumentom uronjena u vodu, a kameni blok koji služi kao uteg, držati će mjerni instrument u istoj poziciji za vrijeme aktivnih hidroloških uvjeta. Drugi mjerni instrument koji je bio postavljen kod ulaza u ponor (181 m n.m.), fiksiran je na stijenu sidrišnim vijcima (Slika 2.3.3 c). Instrument je postavljen tako da je zaštićen stijenama od povremenih bujičnih tokova. Kada su hidrološki uvjeti stabilni lako je dostupan za očitavanje podataka (Slike 2.3.3 - 2.3.5).



Slika 2.3.3. a) Pogled na ponorsku zonu Pazinske jame i predponorski prostor kanjonskog dijela toka Pazinčic, b) data-logger postavljen pod vodom i c) mjerni instrument postavljen na ulazu u Pazinsku jamu



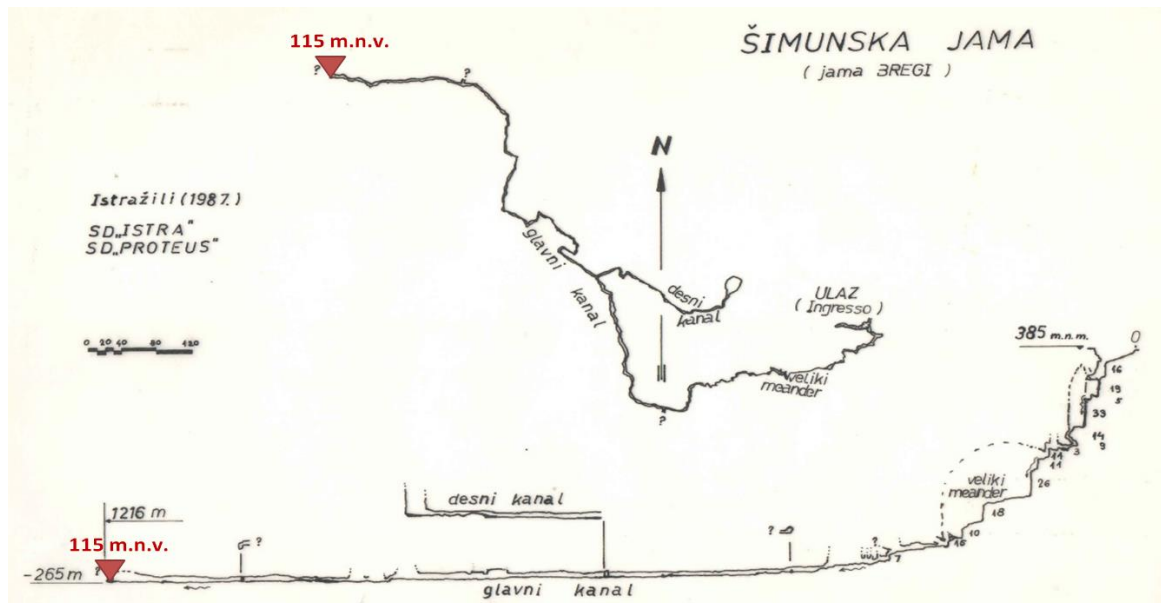
Slika 2.3.4. Prikaz pozicija mjernih instrumenata u Pazinskoj jami - situacija



Slika 2.3.5. Prikaz pozicije mjernih instrumenata u Pazinskoj jami – uzdužni presjek

2.3.2.2. Jame Kobiljak i Bregi

Za opremanje jame Bregi i jame Kobiljak u svrhu postavljanja mjerne sonde u njen hidrološki aktivan dio korištena je tehnika jednostrukih užeta što podrazumijeva korištenje samo jedne linije užeta za savladavanje vertikalnih dijelova jama. Jama Bregi postavljena je do dubine od -273 m. Mjerni instrument bio je postavljen u najnižem dijelu ponora u jezero za koje je poznato da povremeno presuši (Slika 2.3.6). Prilikom postavljanja mjernog instrumenta jezero je bilo puno vode, a prilikom vađenja instrumenta bez vode (Slika 2.3.7).



Slika 2.3.6. Prikaz pozicije mjernog instrumenta u jami Bregi



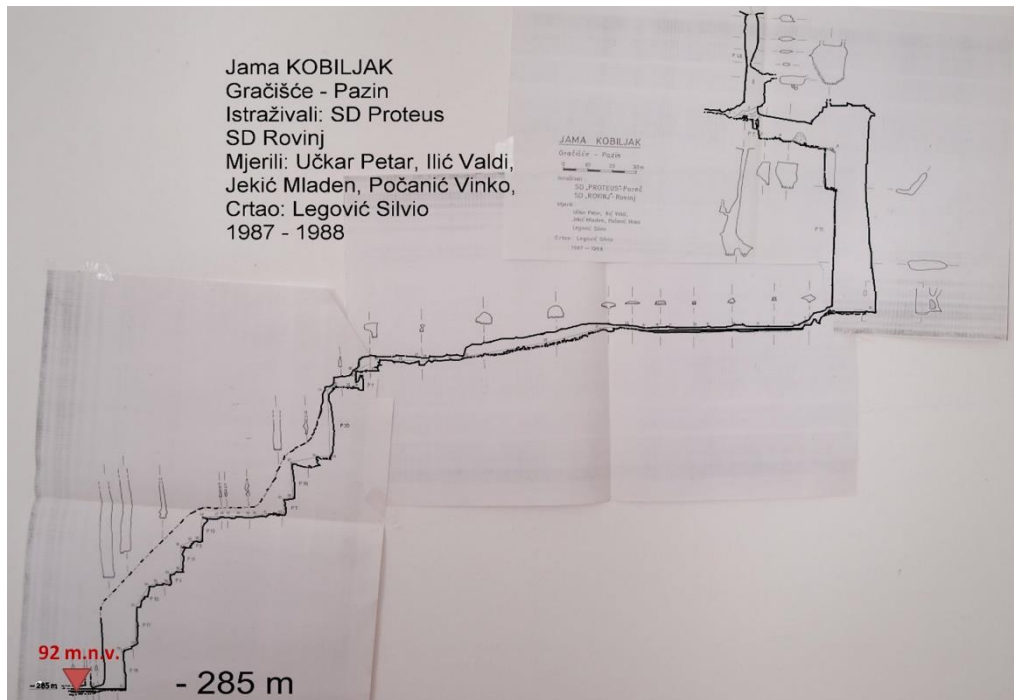
A



B

Slika 2.3.7. Prikaz postavljanja (A) i vađenja (B) mjernog instrumenta u jami Bregi

Jama Kobiljak je tehnički opremljena do dubine od -285 m. Mjerni instrument postavljen je u najnižem dijelu ponora u jezero koje održava stalnu razinu u sušnim periodima (Slika 2.3.8 i 2.3.9).



Slika 2.3.8. Prikaz pozicije mjernog instrumenta u jami Kobiljak



A



B

Slika 2.3.9. Prikaz postavljanja (A) i vađenja (B) mjernog instrumenta u jami Kobiljak

2.3.2.3. Osnovni rezultati monitoringa

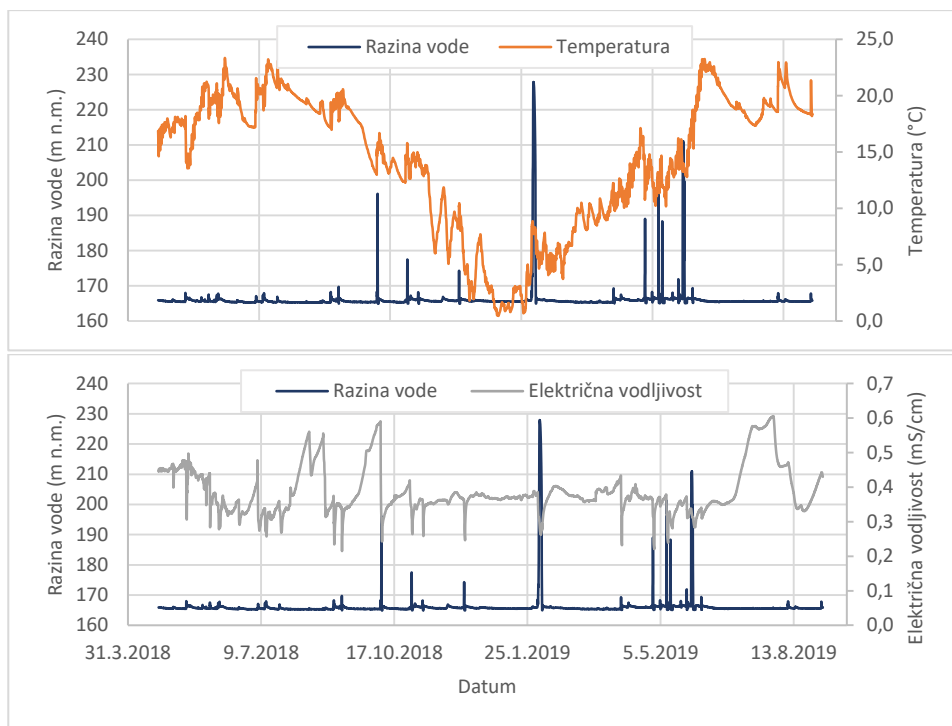
Automatski mjerači za kontinuirana praćenje dinamike kolebanja razina, temperatura i električne vodljivosti podzemnih voda postavljeni su u tri ponora – Pazinska jama, koja ima karakter stalnog ponora, dok jame Kobiljak i Bregi imaju karakter povremenih ponora (Slika 2.1.1). Automatski mjerači su bili podešeni na način da očitavaju podatke svakih petnaest minuta. U Pazinskoj jami jedan automatski mjerač postavljen je u Martelovo jezero, dok je drugi automatski mjerač postavljen kao dopunski u slučaju velikih voda kod ulaza u ponor.

Monitoring u Pazinskoj jami uspostavljen je 23.4.2018., dok je u ponorima Kobiljak i Bregi nešto kasnije, 12.8.2018. i 9.9.2018. U Pazinskoj jami trajao je do 3.9.2019., u ponoru Kobiljak do 31.8.2019., a u ponoru Bregi nešto kraće do 23.6.2019.

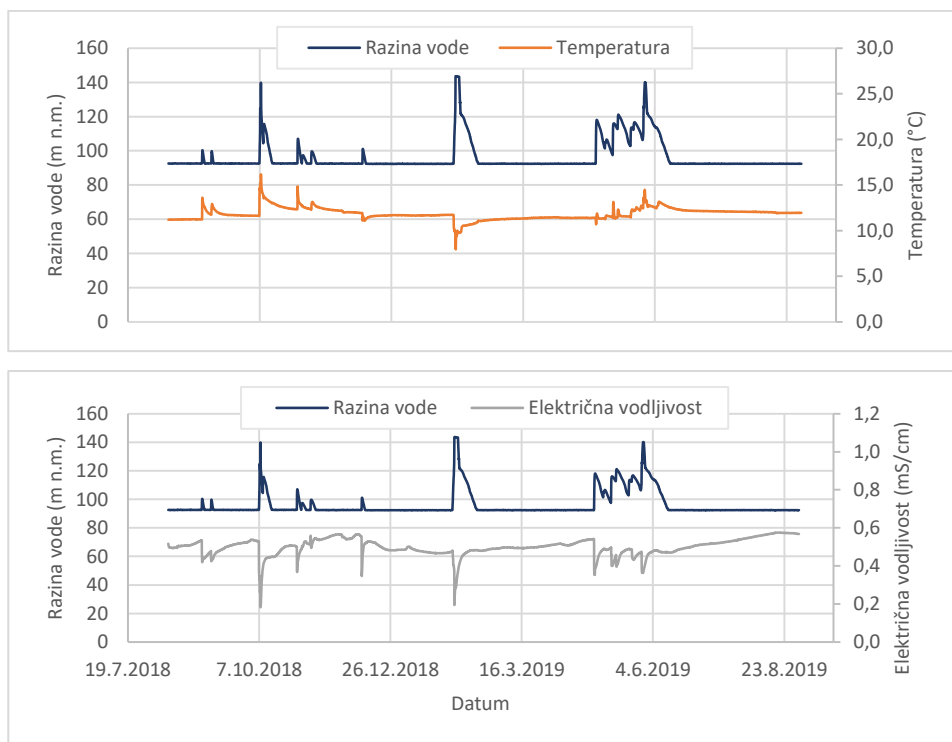
U tablici 2.3.4 dan je pregled razine, temperature i električne vodljivosti podzemne vode u jamama. Također prikaz rezultata opažanja satnih vrijednosti razine vode, temperature i električne vodljivosti možemo vidjeti na slikama 2.3.10 – 2.3.12. Podaci o razinama vode u jamama dani su u apsolutnim kotama, određenim na temelju speleoloških procjena visinskih odnosa u jamama.

Tablica 2.3.4. Srednje, maksimalne i minimalne vrijednosti razina vode, temperature i električne vodljivosti tijekom trajanja monitoringa u ponorima Pazinska jama (23.4.2018. - 3.9.2019.), Kobiljak (12.8.2018. - 31.8.2019.) i Bregi (9.9.2018. - 23.6.2019.)

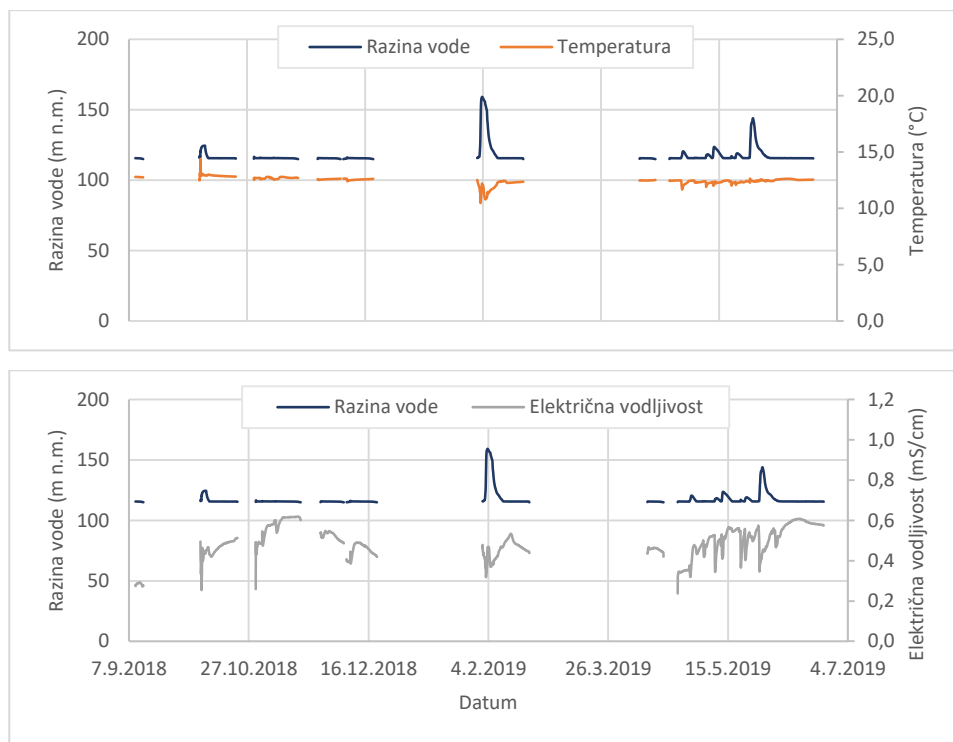
	Razina vode (m n.m.)	Temperatura (°C)	Električna vodljivost (mS/cm)
Pazinska jama			
Sr	166,10	14,3	0,388
Stdev	4,14	6,0	0,068
Cv	0,025	0,418	0,174
Max	227,92	23,4	0,606
Min	164,94	0,5	0,215
Jama Kobiljak			
Sr	96,07	11,8	0,500
Stdev	8,66	0,6	0,044
Cv	0,090	0,054	0,088
Max	143,63	16,2	0,575
Min	92,36	7,9	0,183
Jama Bregi			
Sr	117,62	12,5	0,494
Stdev	6,44	0,3	0,076
Cv	0,05	0,0	0,154
Max	159,25	14,4	0,619
Min	SUHO	10,5	0,238



Slika 2.3.10. Prikaz rezultata opažanja satnih vrijednosti razine, temperature i električne vodljivosti vode u ponoru Pazinska jama u razdoblju 23.4.2018. – 3.9.2019.



Slika 2.3.11. Prikaz rezultata opažanja satnih vrijednosti razine, temperature i električne vodljivosti vode u jami Kobiljak u razdoblju 12.8.2018. – 31.8.2019.



Slika 2.3.12. Prikaz rezultata opažanja satnih vrijednosti razine, temperature i električne vodljivosti vode u jami Bregi u razdoblju 9.9.2018. – 23.6.2019.

Tijekom cijelog razdoblja opažanja, razina vode u Pazinskoj jami kretala se između 227,92 i 164,94 m n.m., dok je srednja razina iznosila 166,10 m n.m. U jami Kobiljak razina vode kretala se između 143,63 i 92,36 m n.m. (srednja razina iznosila 96,07 m n.m.), dok se u jami Bregi kretala između 159,25 m n.m. i presušenog automatskog mjerača (srednja razina iznosila 117,62 m n.m.).

U samo dva dana, tijekom velikog vodnog vala, razina vode u Pazinskoj jami skočila je za 62 metra do maksimalne razine od 227,92 m n.m. (dne 3.2.2019.). U to vrijeme u jami Kobiljak razina vode poveća se za 50 metara, dok se u jami Bregi za oko 44 metara. U jami Kobiljak, kao i u jami Pazinčica, razina vode tijekom monitoringa nikad se nije spustila ispod automatskog mjerača, dok se u jami Bregi to povremeno dešavalo, što se vidi i iz slike 2.3.12. Treba napomenuti da je registrirana razina vode u jami Kobiljak dosegla maksimum na automatskom mjeraču od 50 m, te da se razina vode podigla i za nešto više od registriranog maksimuma.

Oscilacije u temperaturi vode puno su veće u Pazinskoj jami nego u ostale dvije jame, što je i logično jer voda u Pazinsku jamu dolazi iz površinskog vodotoka podložnog većim oscilacijama protoka. Srednja temperatura vode u Pazinskoj jami iznosi 14,3°C (maksimalna 23,4°C, a minimalna 0,5°C), u jami Kobiljak 11,8°C (maksimalna 16,2°C, a minimalna 7,9°C), te u jami Bregi 12,5°C (maksimalna 14,4°C, a minimalna 10,5°C).

Električna vodljivost vode u sve tri jame oscilirala u relativno malom rasponu, između cca 0,2 i 0,6 mS/cm. Srednja električna vodljivost u Pazinskoj jami iznosi 0,39 mS/cm, a u jamama Kobiljak i Bregi je relativno ista oko 0,50 mS/cm.

2.3.3. Izvori u dolini Raše

Dopunski hidrološki monitoring površinskih voda na području izvora u dolini Raše uspostavljen je u okviru predmetnog projekta kao dopuna osnovnom hidrološkom monitoringu koga provodi DHMZ. Provođenje monitoringa započelo je neposredno po početku projekta postavljanjem automatskih mjerača (CTD Diveri) za kontinuirana praćenja razine, temperature i električne vodljivosti vode. Automatski mjerači na području izvora u dolini Raše postavljeni su 8.5.2018. godine na izvorima Rakonek, Sv. Anton, Bolobani i Grdak (slika 2.3.13 i 2.3.14), te je monitoring trajao do 10.10.2019. godine.

Automatski mjerači su podešeni na način da očitavaju podatke svakih deset minuta. Za napomenuti je da je uspostavljeni operativni monitoring na izvoru Rakonek bio dopuna postojećem monitoringu koga provodi DHMZ u smislu praćenja dinamike promjene sadržaja električne vodljivosti i temperature vode na izvoru. Automatski mjerač na izvoru Grdak je ukraden te iz toga razloga njegove podatke nije bilo moguće prikupiti i obraditi. Baro Diver, koji bilježi atmosferski tlak, postavljen je na izvoru Rakonek.



Slika 2.3.13. Pozicije automatskih mjerača: Rakonek (lijevo) i Grdak (desno)



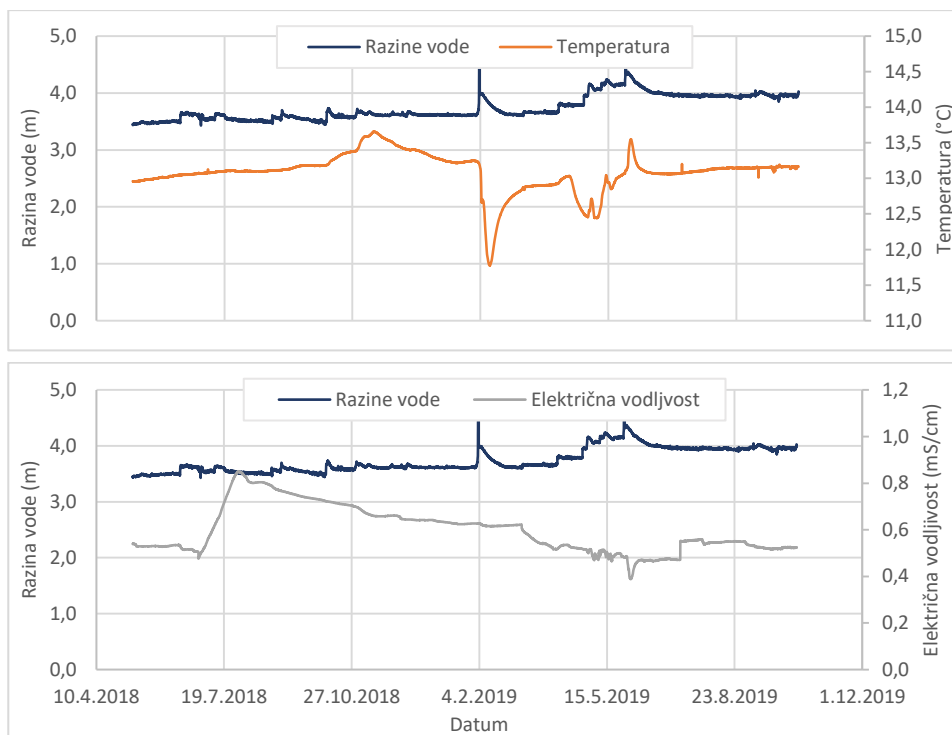
Slika 2.3.14. Pozicije automatskih mjerača: Sv. Anton (lijevo) i Bolobani (desno)

U tablici 2.3.5 dan je pregled razine, temperature i električne vodljivosti vode na izvorima u dolini Raše u razdoblju od 8.5.2018. do 10.10.2019. Također prikaz rezultata opažanja satnih vrijednosti razine vode, temperature i električne vodljivosti možemo vidjeti na slikama 2.3.15 - 2.3.17. Podaci o razinama vode na izvorima prikazani u relativnim, osmotrenim vrijednostima zabilježenim na spomenutim automatskim mjeracima.

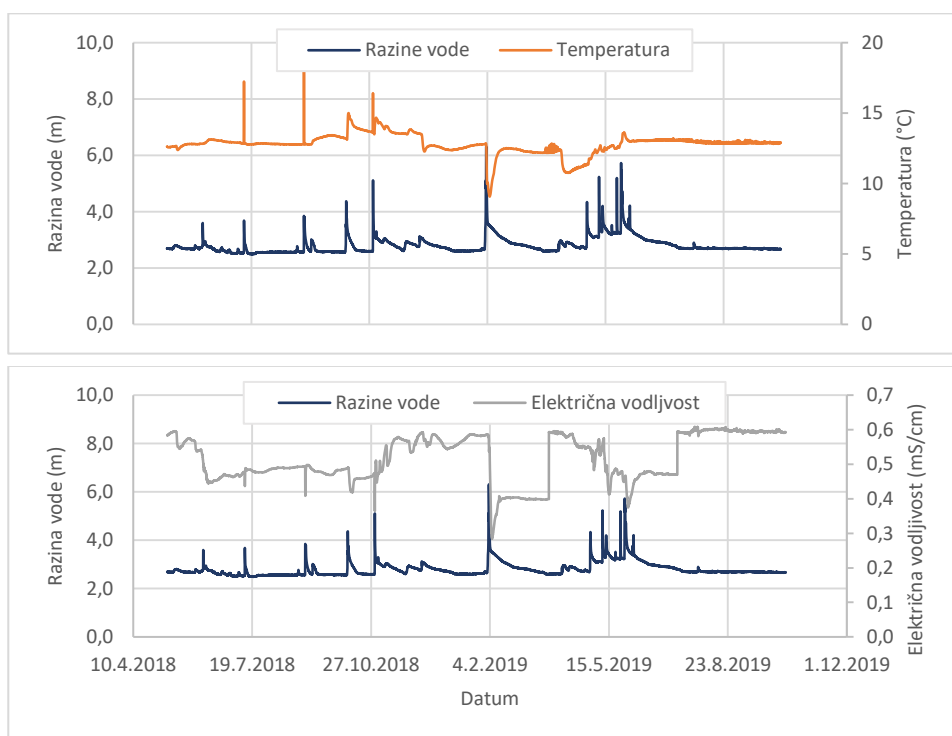
Tablica 2.3.5. Srednje, maksimalne i minimalne vrijednosti razina vode, temperature i električne vodljivosti tijekom trajanja monitoringa na izvorima u dolini Raše (8.5.2018. – 10.10.2019.)

	Razina vode (m)*	Temperatura (°C)	Električna vodljivost (mS/cm)
Rakonek			
Sr	3,74	13,1	0,600
Stdev	0,22	0,3	0,100
Cv	0,06	0,0	0,167
Max	4,72	13,7	0,852
Min	3,43	11,8	0,388
Sv. Anton			
Sr	2,80	12,8	0,516
Stdev	0,30	0,7	0,067
Cv	0,11	0,1	0,131
Max	6,31	18,2	0,609
Min	2,48	9,1	0,285
Bolobani			
Sr	1,67	13,1	0,644
Stdev	0,25	1,0	0,097
Cv	0,15	0,1	0,151
Max	5,75	16,2	1,01
Min	1,50	9,7	0,436

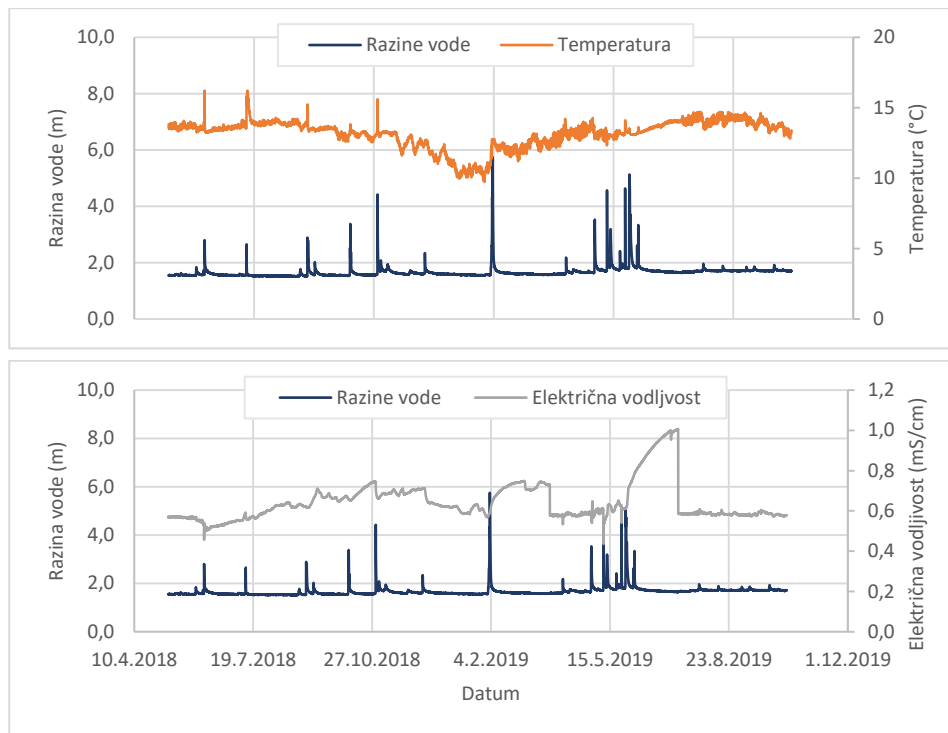
*Relativna kota (očitanje sa CTD Divera)



Slika 2.3.15. Prikaz rezultata opažanja satnih vrijednosti razine, temperature i električne vodljivosti vode na izvoru Rakonek u razdoblju 8.5.2018. – 10.10.2019.



Slika 2.3.16. Prikaz rezultata opažanja satnih vrijednosti razine, temperature i električne vodljivosti vode na izvoru Sv. Anton u razdoblju 8.5.2018. – 10.10.2019.



Slika 2.3.17. Prikaz rezultata opažanja satnih vrijednosti razine, temperature i električne vodljivosti vode na izvoru Bolobani u razdoblju 8.5.2018. – 10.10.2019.

Tijekom cijelog razdoblja opažanja, razina vode se kretala u rasponu između 3,43 i 4,72 m na izvoru Rakonek, između 2,48 i 6,31 m na izvoru Sv. Anton, te između 1,5 i 5,75 m na izvoru Bolobani. Vidljivo je da je srednja temperatura vode za cijelo razdoblje ujednačena na svim izvorima (oko 13°C), no na izvorima Sv. Anton i Grdak zabilježene su puno veće oscilacije nego na izvoru Rakonek, što je posljedica puno manjih oscilacija protoka na izvoru Rakonek. Također i srednja električna vodljivost je na svim izvorima ujednačena (oko 0,6 mS/cm). Sa slika vidimo da s povećanjem razine vode u ljetnom periodu dolazi i do povećanja temperature vode, dok je u zimskom periodu obrnuta situacija.

U sklopu monitoringa provedene su tri serije vodomjerenja na izvorima Grdak, Sv. Anton i Bolobani (Slika 2.3.18). Protoke su se mjerile pomoću standardnog elektromagnetskog hidrometrijskog krila OTT NAUTILUS 184155 (sa brojačem OTT SENZA Z300), a obrada podataka vodomjerenja metodom brzina/površina za otvorene kanale (prema normi HRN ISO 748) programom VODOMJERENJA, razvijenomu u okviru hidrološke službe Državnog hidrometeorološkog zavoda.

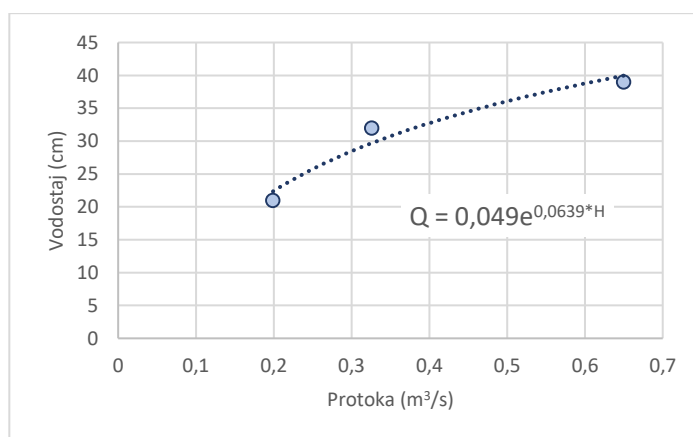


Slika 2.3.18. Pozicije vodomjerenja na izvorima a) Grdak, b) Sv. Anton i c) Bolobani

U tablici 2.3.6 dani su rezultati vodomjerenja na izvorima Grdak, Sv. Anton i Bolobani, te razine vode na vodokaznoj letvi na izvorima Rakonek i Sv. Anton u vrijeme vodomjerenja. Na osnovu rezultata vodomjerenja na izvoru Sv. Anton dobivena je konsumpcijska (protočna) krivulja koja je prikazana na slici 2.3.19. Mjerenja protoka vršena su u odvodnom kanalu (slika 2.3.18 b) na kojemu je pričvršćena vodokazna letva.

Tablica 2.3.6. Razine vode i izmjereni protoci na izvorima Grdak, Sv. Anton i Bolobani

Datum	Vodostaj (cm)		Izmjereni protok (m ³ /s)		
	Rakonek	Sv. Anton	Sv. Anton	Bolobani	Grdak
8.5.2018	22	39	0,65	0,032	0,57
25.3.2019	17	21	0,199	0,02	0,312
12.7.2019	13	32	0,326	0,0319	0,406



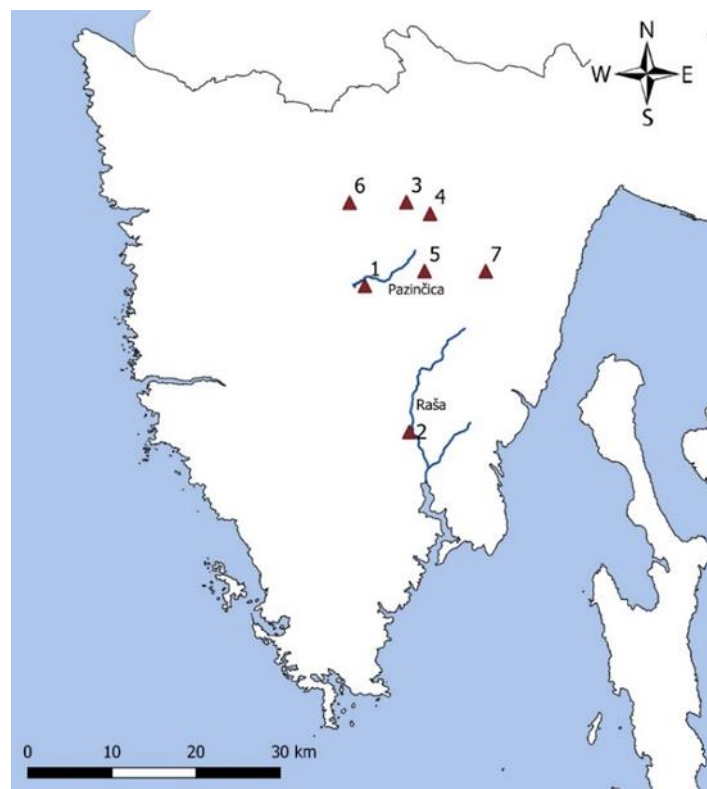
Slika 2.3.19. Protočna krivulja na izvoru Sv. Anton

3. PREGLED STANJA U SLIVU – OSNOVNE ZNAČAJKE TOKA I SLIVA PAZINČICE

3.1. Klimatološke prilike sliva Pazinčice i šireg utjecajnog prostora

Klimatološke značajke na području sliva Pazinčice razmatrane su na razini osnovnih klimatoloških značajki zabilježenih vremenskih serija – dnevnih, mjesečnih i godišnjih podataka o temperaturama zraka, količinama palih oborina i ispravanjima.

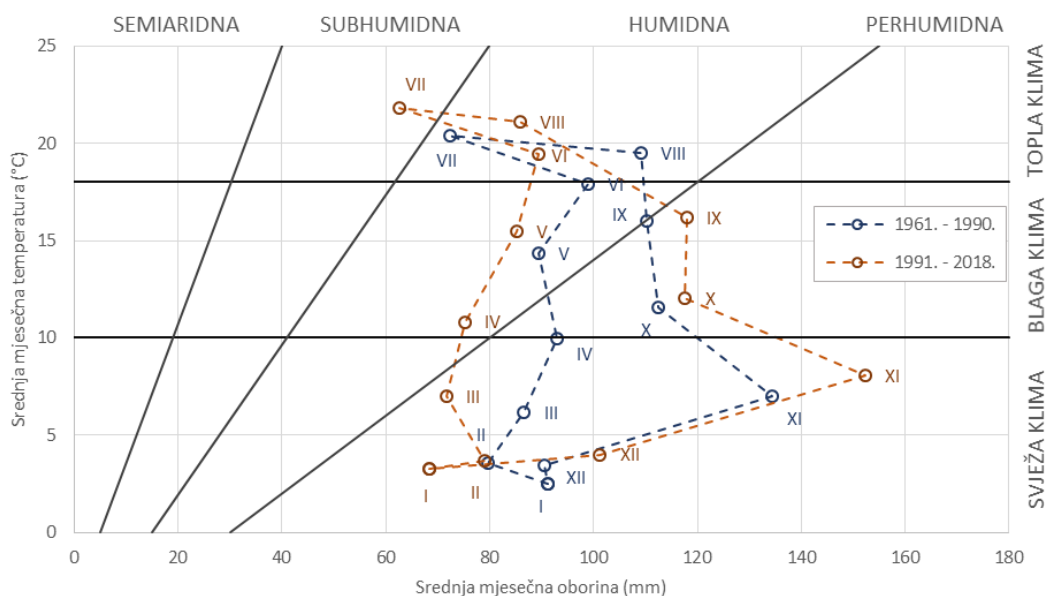
Korišteni su podaci sa meteorološke postaje Pazin (45°14'27", 13°56'43") koja se nalazi na nadmorskoj visini od 291 m, kišomjernih postaja Rakonek (45°5'10", 14°1'10"), Draguč (45°19'53", 14°0'14"), Grdinići (45°19'12", 14°02'26"), Gologorica (45°15'29", 14°02'06"), te klimatoloških postaja Botonega (45°19'45", 13°55'7") i brana Letaj (45°15'37", 14°7'40") (<https://meteo.hr/>). Postaja Grdinić nalazi se na nadmorskoj visini od 425 m, Gologorica na 300 m, Botonega na 50 m, te brana Letaj na 120 m (<https://meteo.hr/>). Prikaz svih postaja dan je na slici 3.1.1.



Slika 3.1.1. Prikaz meteorološke postaje Pazin (1), kišomjernih postaja Rakonek (2), Draguč (3), Grdinić (4), Gologorica (5), te klimatoloških postaja Botonega (6) i brana Letaj (7)

Reprezentativna klimatološka postaja je Pazin, s kontinuiranim podacima o praćenjima oborina i temperatura zraka kao i ostalih meteoroloških elemenata, od 1949.g. Opće klimatske značajke mogu se zorno predočiti fosterovim dijagramom (Slika 3.1.2) na kojem su dani prosječeni podaci iz dva karakteristična klimatska razdoblja – referentno 30-godišnje 1961.-90., za koje se smatra da odražava prosječne klimatske prilike prije izraženijih utjecaja klimatskih promjena na njih, kao i

za recentno 28-godišnje razdoblje nakon toga referentnog (1991.-2018.). Radi se o praktički identično dugom nizu podataka, pa se razlike u utvrđenim značajkama ne mogu pripisati samo uobičajenim klimatskim varijacijama tijekom pojedinih godina/kraćih razdoblja.



Slika 3.1.2. Fosterov dijagram za klimatološku postaju Pazin

Iz danih je prikaza vidljivo da u razdoblju od studenog do travnja klimatske prilike na području Pazina imaju odlike svježije perhumidne klime. Noviji klimatski niz pri tome pokazuje porast oborina u studenom i prosincu, kao i njihovo smanjenje u razdoblju između siječnja i travnja u odnosu na referentni 30-godišnji niz. Prosječne mjesečne temperature zraka porasle su u svim spomenutim mjesecima, pa je travanj prešao u kategoriju mjeseca s humidnim značajkama blage klime. Spomenuto uočeno povećanje oborina u drugom dijelu godine nije samo odlika dvaju posljednjih mjeseci u godini, već i rujna i listopada koji također spadaju u mjesec s perhumidnim klimatskim prilikama, s značajkama blage klime. S druge strane, proljetni mjeseci, uz spomenuti travanj još i svibanj te lipanj koji je granični prema značajkama tople klime, i za novije obrađivano razdoblje je prešao u kategoriju tople klime, imaju također odlike blage klime, ali s manjim prosječnim količinama oborina u odnosu na referentni 30-godišnji niz. Najizraženiji ljetni mjeseci – srpanj i kolovoz imaju karakter tople humidne klime, s time da je i kod njih zapažen pad oborina tijekom recentnog 28-godišnjeg razdoblja u odnosu na ranije referentno 30-godišnje razdoblje, pa je tako srpanj prešao u kategoriju subhumidnih toplih klimatskih značajki. Prostorna raspodjela srednjih godišnjih oborina i temperatura zraka za sliv Pazinčice, kao i područja iz koga se također prihranjuju izvori u dolini Raše prikazana je na Slici 3.4.4 u okviru poglavlja 3.4 u kojem su provedena bilanciranja.

Uočene promjene imaju posljedice i na vodnu bilancu, i ako se nastave u budućnosti, to će još više utjecati na njen nepovoljni raspored – da u razdobljima kad i inače ima dovoljno vode, ima je sve više, a da u mjesecima kad već sada postoje manjkovi za zadovoljavanje potreba za vodom, isto bude sve naglašeniji.

3.1.1. Oborine

Godišnji i mjesečni podaci

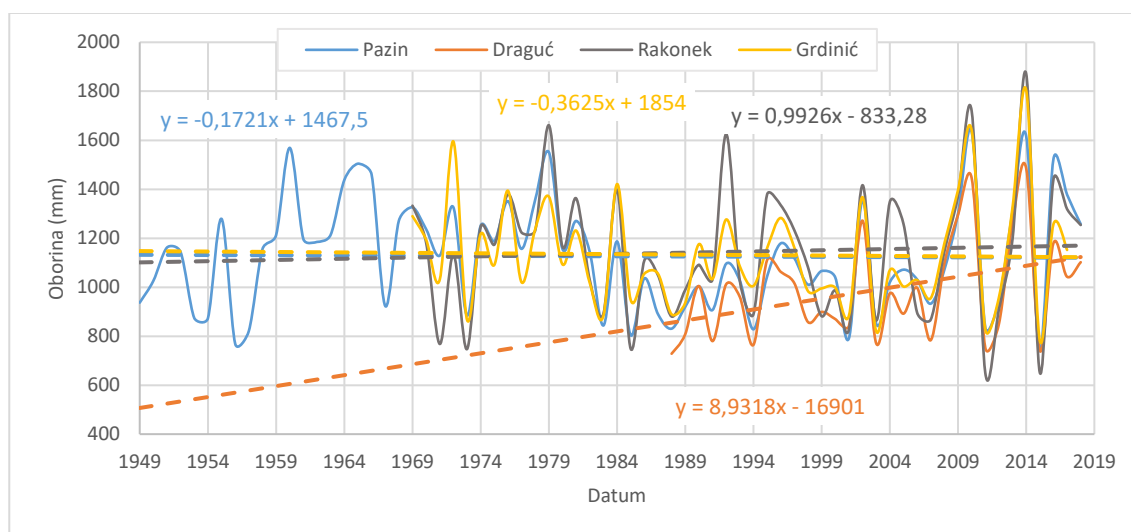
Pri analizama oborinskog režima korišteni su podaci s postaja koji imaju dulje nizove podataka - s meteorološke postaje Pazin (1949. – 2018.), te s kišomjernih postaja Rakonek (1969. – 2018.), Draguč (1988. – 2018.), Grdinić (1969. – 2018.) i Gologorica (1989. – 2003.). Rezultati osnovne statističke obrade podataka (Sr – srednja vrijednost niza, Stdev – standardna devijacija, Cv – koeficijent varijacije, Max i Min – ekstremne registrirane vrijednosti unutar analiziranog niza srednjih mjesečnih ili godišnjih vrijednosti) o oborinama na spomenutih postajama dani su u tablici 3.1.1. Radi usporedbe, u tablici su dani i podaci o oborinama tijekom 2018. i 2019. godine.

Tablica 3.1.1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti oborina (mm) na postajama u slivu Pazinčice

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Pazin (1949. - 2018.)													
Sr	79,8	81,4	78,5	83,1	83,9	90,6	70,2	92,5	111,3	114,6	140,7	99,8	1126,2
Stdev	49,9	56,6	51,0	37,0	45,5	46,9	44,7	58,6	68,8	86,1	80,5	67,0	224,7
Cv	0,625	0,695	0,650	0,445	0,543	0,517	0,636	0,634	0,619	0,751	0,572	0,671	0,199
Max	221,2	240,8	184,7	187,7	191,6	296,4	209,6	281,4	368,3	462,5	358,7	288,8	1634,8
Min	0	1,3	0,3	11,4	8,1	6,6	1,2	6,2	4,4	0,1	10,6	1,7	738,8
2018	66	124,4	148,8	57,7	110,1	138,6	65,6	73,6	84,5	235,0	95,4	57,6	1257,4
2019	30	151,2	23,4	135,1	295,1	26,0	72,6	96,7	90,5	26,4	320,3	230,4	1498,0
Rakonek (1969. - 2018.)													
Sr	96,7	90,3	85,6	86,0	81,9	81,4	55,2	86,1	108,8	130,9	139,2	103,1	1145,4
Stdev	67,7	70,2	54,8	46,0	61,1	44,4	45,2	59,1	74,6	89,6	83,9	76,7	274,4
Cv	0,700	0,778	0,641	0,534	0,747	0,545	0,818	0,686	0,685	0,684	0,603	0,744	0,240
Max	259,2	326,3	245,2	197,4	314,6	179,7	198,0	222,1	287,7	385,4	355,5	320,2	1871,5
Min	0	5,2	0,0	2,2	4,5	2,4	1,8	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	651,0
2018	128	133,8	174,7	43,6	72,4	87,4	76,8	99,8	136,2	172,9	94,7	33,2	1253,8
2019	20	159,6	21,5	140,5	314,6	19,7	129,8	67,7	166,1				
Draguč (1988. - 2018.)													
Sr	59,5	63,7	66,7	73,2	77,7	89,6	62,7	79,6	102,2	107,0	126,9	80,4	989,2
Stdev	41,4	52,4	47,5	35,6	43,9	40,9	39,2	58,4	58,4	70,4	77,5	57,9	206,8
Cv	0,696	0,824	0,712	0,486	0,565	0,456	0,625	0,733	0,572	0,658	0,610	0,720	0,209
Max	159,2	196,9	160,8	157,5	167,5	178,1	149,8	279,3	279,0	342,2	278,7	272,2	1485,8
Min	0	0,0	0,2	0,0	6,1	4,0	4,2	8,2	21,0	28,8	12,0	0,9	728,4
2018	69	94,0	124,2	91,0	112,8	79,7	105,3	61,6	85,6	137,8	94,0	47,5	1102,0
2019	22	126,4	13,9	145,7	241,4	21,0	95,5	138,1	117,3	21,9	260,0	191,9	1395,2
Grdinić (1969. - 2018.)													
Sr	82,6	79,3	81,2	84,9	87,9	93,9	73,0	96,9	107,0	119,6	134,5	93,0	1131,5
Stdev	58,0	55,8	49,8	41,2	56,0	37,7	41,7	59,6	61,4	81,3	82,5	61,6	218,2
Cv	0,703	0,704	0,614	0,485	0,637	0,402	0,571	0,615	0,574	0,680	0,613	0,663	0,193
Max	250,0	230,0	196,0	196,9	268,3	184,0	205,6	287,4	258,6	401,2	346,4	270,3	1803,9
Min	0	2,1	0,9	12,0	7,0	5,0	1,1	4,7	5,0	2,0	12,4	0,3	782,6
2018		89,1	113,8	62,1	104,2	66,2	95,0	54,3	135,3	139,2	78,5	49,1	
2019			12,0	157,0	268,3	18,1	83,8	117,2	116,4				
Gologorica (1989. - 2003.)													
Sr	66,9	40,4	54,2	103,8	62,7	106,2	61,2	82,6	121,7	118,9	145,2	80,5	1032,8
Stdev	48,5	33,6	49,7	56,7	58,2	53,2	31,6	65,4	48,1	93,9	80,8	54,2	181,2
Cv	0,725	0,833	0,917	0,547	0,928	0,500	0,516	0,792	0,396	0,789	0,557	0,673	0,175
Max	147,8	110,7	169,2	259,2	231,3	199,0	100,9	249,3	217,2	382,3	339,6	155,7	1437,7
Min	0	0,0	2,5	24,9	4,5	15,2	11,4	11,5	51,4	29,6	61,5	15,0	766,3

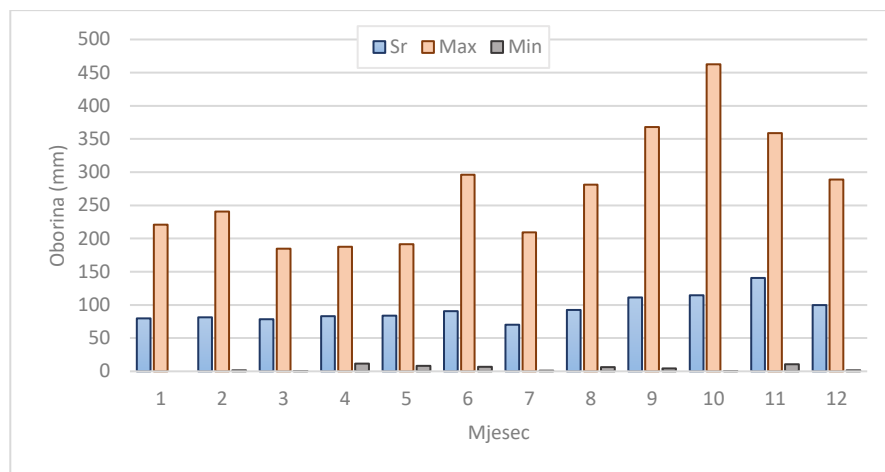
Srednja ukupna godišnja oborina na postaji Pazin (1949.-2018.) iznosi 1226,2 mm, na postaji Rakonek (1969.-2018.) 1145,4 mm, na postaji Grdinić (1969.-2018.) 1131,5 mm, te na postaji Draguč (1988.-2018.) nešto manje 983,4 mm, ali se radi i o puno kraćem nizu koji obuhvaća razdoblje u kojem se već osjećaju manifestacije prisutnih klimatskih promjena/varijacija. Vidi se da je na svim analiziranim postajama, mada se radi o nizovima različite duljine, srednja ukupna godišnja oborina vrlo slična i da postoji gradijent njihova povećanja s porastom nadmorske visine. Prisutna je vrlo velika varijabilnost, kako po pojedinim mjesecima, tako i na razini godišnjih podataka u ukupno palim količinama oborina. Tako npr. za postaju Pazin godišnji prosjek iznosi 1126,2 mm, a godišnje varijacije se kreću u rasponu između 738,8 i 1634,8 mm. Godine u kojima je proveden dopunski monitoring u sklopu ovoga projekta, 2018. te posebno 2019., bile su iznadprosječno vodne.

Razmotreni su i trendovi hoda godišnjih količina oborina na analiziranim postajama (Slika 3.1.3). Iz prikaza je vidljivo da postaje Pazin, Rakonek i Grdinići imaju vrlo sličan trend koji praktički stagnira (blagi trend smanjenja godišnjih količina oborina od oko 1,7 mm/10 god kod postaje Pazin i 3,6 mm/10 god kod postaje Grdinići, te blagi trend povećanja od oko 9,9 mm/10 god kod postaje Rakonek). Kod postaje Draguč postoji trend povećanja godišnjih količina oborina od oko 89 mm/10 god. Iz grafa je vidljivo da sve postaje imaju vrlo sličan hod godišnjih količina oborina te ovakav izraženi trend povećanja kod postaje Draguč može se prepisati prekratkom nizu zabilježenih podataka. Također možemo vidjeti da su u razdoblju od 2007. do 2016. godine vrlo izražene razlike između sušnih i vodnih godina, koje se ciklički javljaju.



Slika 3.1.3. Hod karakterističnih godišnjih vrijednosti zabilježenih količina oborina na postajama u slivu Pazinčice

Za postaju Pazin prikazana je i njihova unutar godišnja raspodjela (Slika 3.1.4) iz koje je vidljivo da dominiraju jesenske oborine (rujan – prosinac), a da su u prosjeku najmanje u srpnju. Mjeseci s minornim količinama oborina (ispod 10 mm) ili potpuno bez njih mogu se javiti tijekom cijele godine, s izuzetkom studenog i travnja, kada su zabilježene minimalne oborine nekoliko mm iznad spomenutog praga.



Slika 3.1.4. Unutar godišnja raspodjela srednjih, maksimalnih i minimalnih količina oborina na postaji Pazin (1949. – 2018.)

Kratkotrajne jake oborine

Kratkotrajne jake oborine (trajanja do 24 sata, a vjerojatnost rjeđa od 1-2 godišnjeg povratnog perioda) bitno utječu na vodni režim – kako u smislu režima otjecanja voda, pojava velikih vodnih valova pa i poplavnih rizika i samih poplavlivanja, tako i pronosa nanosa, a vezano uz to i kakvoće voda u podzemlju. Na području sliva Pazinčice aktivne su dvije ombrografske postaje – Pazin i Grdinići, locirane na suprotnim dijelovima sliva i na različitim nadmorskim visinama. Njihova je detaljna obrada provedena u okviru skorašnjeg EU projekta RAINMAN (<https://www.interreg-central.eu/Content.Node/RAINMAN.html>), u kome su Hrvatske vode bile hrvatski partner u projektu, a Građevinski fakultet u Rijeci i DHMZ (2019) izrađivači studije „Analiza oborina na pilot područjima u Istri i Zagrebu (Projekt RAINMAN)“. Iz te su studije u nastavku preuzeti podaci o značajkama zabilježenih kratkotrajnih jakih oborina (Tablica 3.1.2) , kao i definirane HTP krivulje (Tablica 3.1.3, Slike 3.1.5 i 3.1.6) za spomenute dvije postaje.

Pri tome su procijenjene očekivane maksimalne količine oborine pojedinog trajanja za različite povratne periode (2, 5, 10, 20, 50 i 100 godina) primjenom opće razdiobe ekstrema (*eng. Generalized Extreme Value distribution, GEV*) (Coles, 2001). Za spomenuti je da je u sklopu spomenute studije iz 2019.g. provedena i obrada oblika projektnog pljuska, a koji je korišten u provedenim modeliranjima u sklopu točke 3.6.3 ovog dokumenta.

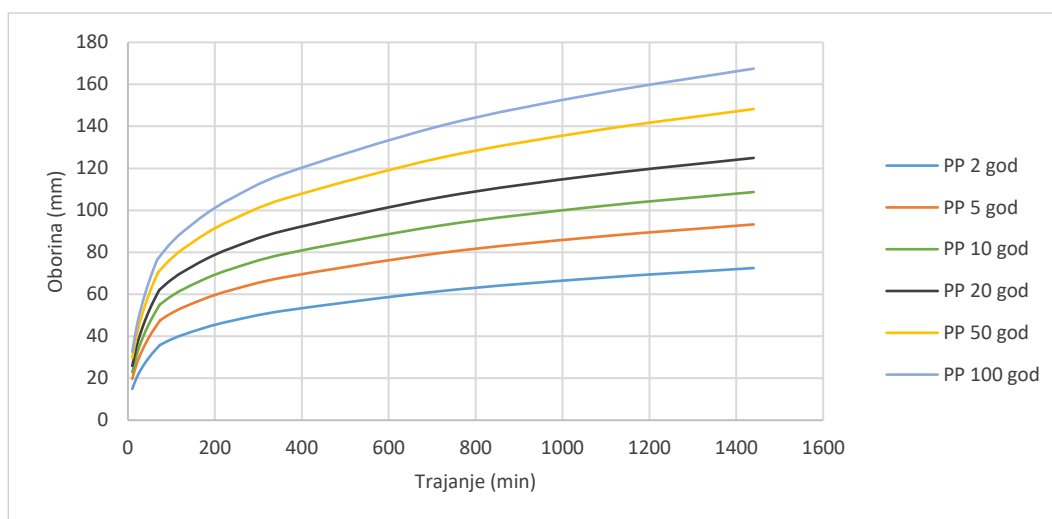
Na temelju osmotrenih podataka, definirane su i anvelope maksimalno osmotrenih vrijednosti za spomenute dvije postaje, iz koje je vidljivo da su na postaji Pazin zabilježeni naglašeniji ekstremi za trajanja do 2 sata, a na Grdinićima za dulja trajanja. Anvelopa je dana na grafu u polulogritamskom mjerilu kako bi se bolje uočila raspodjela palih oborina kraćih trajanja.

Tablica 3.1.2. Osnovna statistika nizova godišnjih maksimuma kratkotrajnih količina oborine (R_{sred} -srednjak, σ -standardna devijacija, cv -koeficijent varijacije, R_{maks} - najveća registrirana količina oborine i pripadni povratni period T izračunato pomoću opće razdiobe ekstremnih vrijednost) (Građevinski fakultet u Rijeci i DHMZ, 2019)

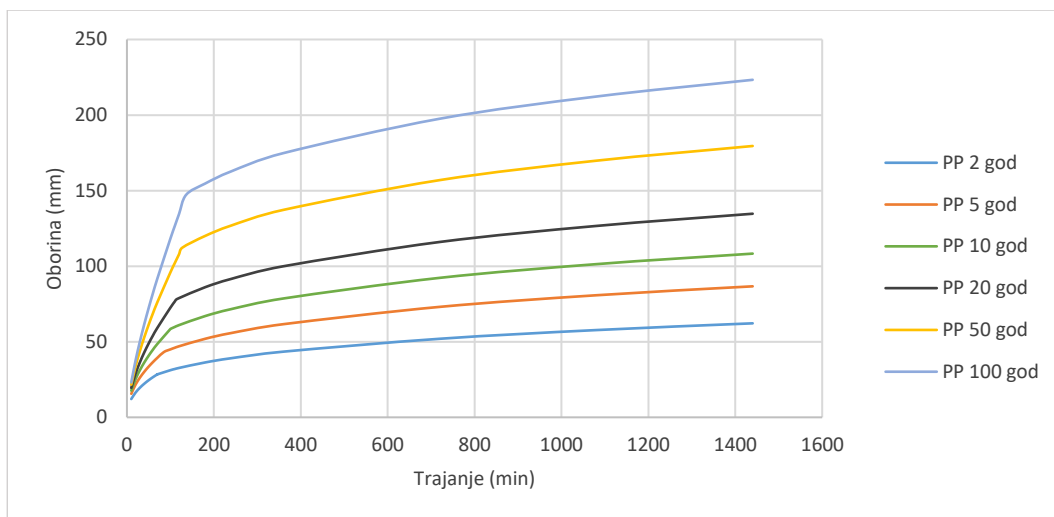
Trajanje (min)	R_{sred} (mm)	σ (mm)	cv	R_{maks} (mm)	T (god)
PAZIN (1963.-2016., s prekidima)					
10 min	14.1	4.7	0.33	29	159
20 min	22.2	8.2	0.37	58	409
30 min	27.5	9.9	0.36	71.5	434
40 min	30.9	11.0	0.36	78.7	387
50 min	33.1	11.6	0.35	82.4	419
60 min	34.8	12.1	0.35	85.5	444
2h	42.5	14.6	0.34	94.5	209
4h	50.8	16.0	0.31	96.6	68
6h	55.6	17.8	0.32	99.8	31
12h	65.3	20.7	0.32	130.7	45
18h	72.6	22.2	0.31	134.7	49
24h	78.4	23.7	0.30	145	55
GRDINIĆI (1968.-2016., s nepouzdanom 1992.g.)					
10 min	11.4	3.7	0.33	19.7	39
20 min	18.1	6.2	0.34	35.3	43
30 min	22.6	7.8	0.35	43.1	37
40 min	25.8	9.0	0.35	45.7	22
50 min	28.4	10.0	0.35	50.7	21
60 min	30.4	10.8	0.36	54	22
2h	37.5	17.3	0.46	91.6	33
4h	47.1	25.1	0.53	128.3	50
6h	51.8	25.1	0.48	133.9	46
12h	60.3	27.5	0.46	151.5	37
18h	66.8	30.4	0.45	163	43
24h	71.3	30.7	0.43	163.7	46

Tablica 3.1.3. Analitički prikaz HTP – krivulja za postaje Pazin i Grdinići

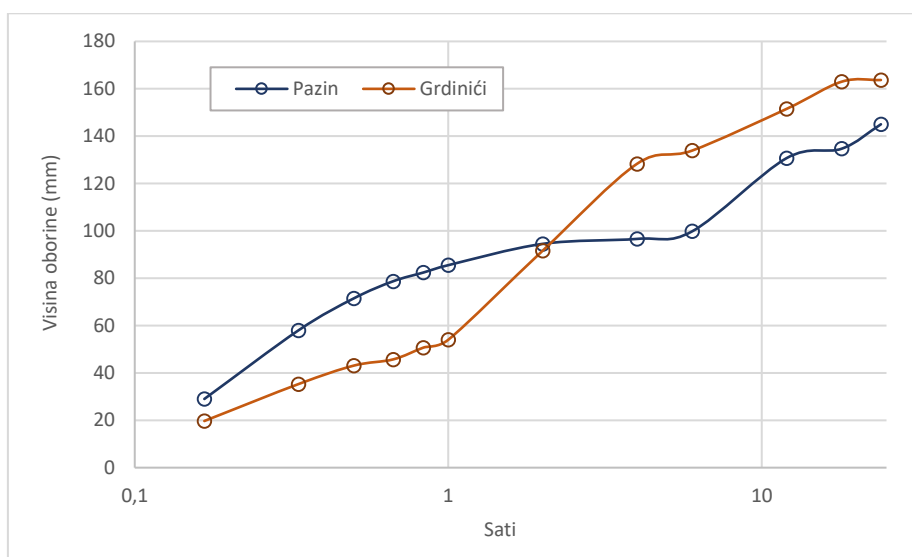
Povratni period	HTP krivulja	tp	HTP krivulja
	(10 min < t < tp)	(sati)	(tp < t < 24 sata)
PAZIN			
2-god	5,4269 · t ^{0,439}	1,23	12,923 · t ^{0,2371}
5-god	7,1692 · t ^{0,4395}	1,24	17,922 · t ^{0,2268}
10-god	8,2871 · t ^{0,4409}	1,22	20,644 · t ^{0,2284}
20-god	9,335 · t ^{0,4427}	1,20	22,786 · t ^{0,234}
50-god	10,658 · t ^{0,4453}	1,16	24,898 · t ^{0,2453}
100-god	11,628 · t ^{0,4473}	1,12	26,026 · t ^{0,256}
GRDINIĆI			
2-god	4,4166 · t ^{0,4385}	1,16	9,4724 · t ^{0,2588}
5-god	5,2145 · t ^{0,4759}	1,42	14,478 · t ^{0,2461}
10-god	5,3503 · t ^{0,5192}	1,67	20,19 · t ^{0,231}
20-god	5,2504 · t ^{0,5702}	1,89	28,146 · t ^{0,2153}
50-god	4,8868 · t ^{0,6464}	2,13	43,918 · t ^{0,1936}
100-god	4,5071 · t ^{0,7094}	2,27	61,822 · t ^{0,1766}



Slika 3.1.5. Grafički prikaz HTP – krivulja za postaju Pazin



Slika 3.1.6. Grafički prikaz HTP – krivulja za postaju Grdinići



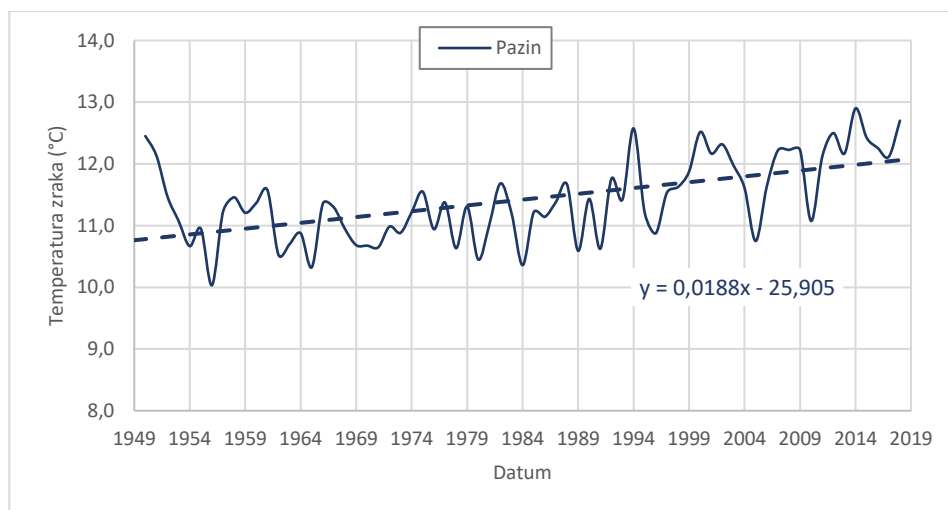
Slika 3.1.7. Avelopa najvećih zabilježenih kratkotrajnih oborina na postajama Pazin i Grdinići zaključno s 2018.g.

3.1.2. Temperature zraka

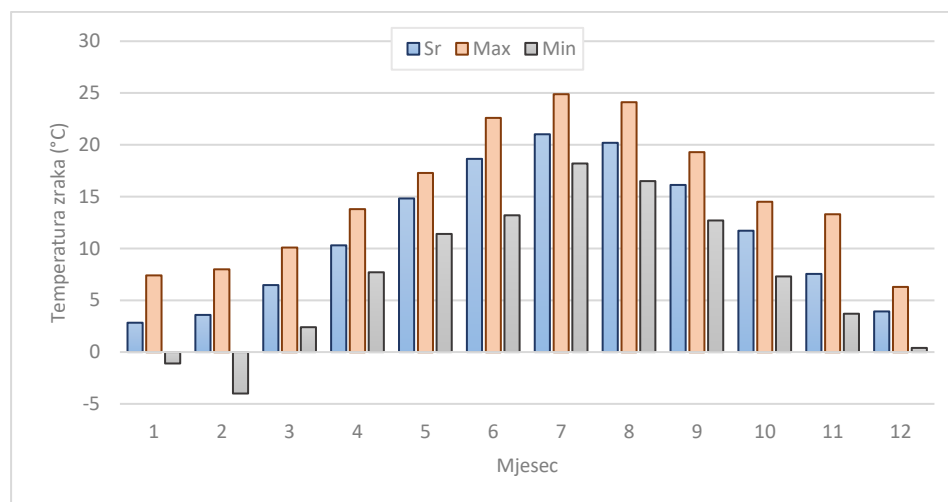
U tablici 3.1.4 dani su rezultati osnovne statističke obrade mjesečnih i godišnjih podataka o temperaturama zraka sa postaje Pazin. Vidljivo je da je u promatranom razdoblju od 70 godina srednja godišnja temperatura zraka varirala u rasponu između 10,0 i 12,9 °C, s prosjekom od 11,4 °C, te da je za 2018. i 2019. u kojima je proveden predmetni monitoring, ona iznosila vrlo visokih 12,7 °C, što su nakon ekstrema iz 2014.g. dvije slijedeće najtoplije godine. Unutar godišnja raspodjela temperatura uobičajena je za područje središnje Istre, s nešto naglašenijim ekstremima zbog specifičnog položaja Pazina u dolini Pazinčice (Slika 3.1.9). U prosjeku je najtopliji srpanj s 21,0 °C, a najhladniji siječanj s 2,8 °C. Prisutan je i trend povećanja temperatura zraka na postaji Pazin od čak 1,9 °C/100 god (Slika 3.1.8).

Tablica 3.1.4. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti temperatura zraka (°C) na postaji Pazin

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Pazin (1949. - 2018.)													
Sr	2,8	3,6	6,5	10,3	14,8	18,6	21,0	20,2	16,1	11,7	7,5	3,9	11,4
Stdev	1,9	2,2	1,7	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,4	1,4	1,8	1,4	0,7
Cv	0,66	0,62	0,26	0,12	0,09	0,08	0,07	0,08	0,09	0,12	0,24	0,35	0,06
Max	7,4	8,0	10,1	13,8	17,3	22,6	24,9	24,1	19,3	14,5	13,3	6,3	12,9
Min	-1,1	-4,0	2,4	7,7	11,4	13,2	18,2	16,5	12,7	7,3	3,7	0,4	10,0
2018	6,1	1,8	6,3	13,8	17,1	19,7	21,6	22,3	17,2	13,5	9,7	3,8	12,7
2019	1,9	5,4	8,5	11,1	12,5	22,2	22,3	22,3	16,4	13,1	10,4	5,9	12,7



Slika 3.1.8. Hod karakterističnih godišnjih vrijednosti zabilježenih temperatura zraka na postajama Pazin (1950. - 2018.)



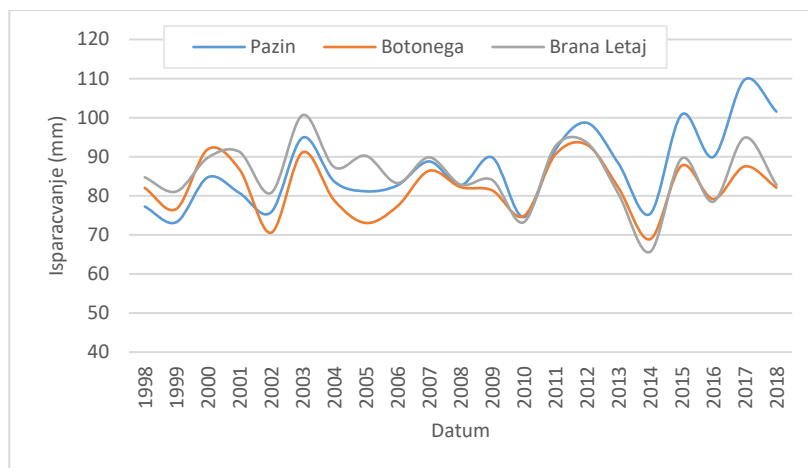
Slika 3.1.9. Unutar godišnja raspodjela srednjih, maksimalnih i minimalnih zabilježenih temperatura na postaji Pazin (1949. – 2018.)

3.1.3. Isparavanja

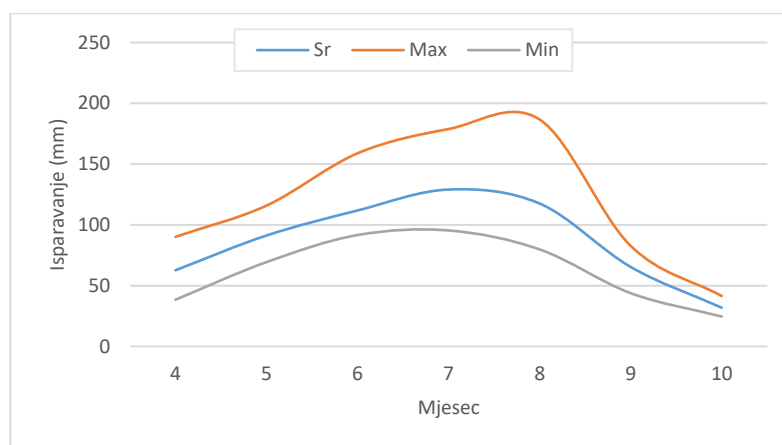
Isparavanja sa slobodne vodene površine prati se na klimatološkim postajama uglavnom pomoću Američkog isparitelja klase A. S obzirom da se radi o isparavanjima iz posude koja je podložnija većim isparavanjima nego li sa slobodne vodene površine, mjereni podaci se u meteorološkoj praksi obično reduciraju s koeficijentom 0,7 ukoliko se radi o isparitelju udaljenijem od nekog većeg vodnog tijela, kao što se u danom slučaju radi o isparitelju na klimatološkoj postaji Pazin. Radi usporedbe, dani su i podaci s dvaju isparitelja lociranih neposredno uz branu Botonega koja je locirana na akumulaciji Butoniga, te uz Letaj branu na povremenoj akumulaciji Boljunčica. U tablici 3.1.5 i na slici 3.1.10 dan je prikaz rezultata osnovne statističke obrade podataka o isparavanjima na postajama Pazin, Botonega i brana Letaj. Isparavanja su dana za razdoblja od travnja do listopada u razdoblju od 1998. do 2018. godine, jer tijekom zimskih mjeseci postoji rizik od smrzavanja, pa se motrenja nažalost prekidaju. Na slici 3.1.11 dan je usporedni prikaz prosječnih mjesečnih, kao i ekstremnih mjesečnih isparavanja s postaje Pazin.

Tablica 3.1.5. Karakteristične mjesečne vrijednosti isparavanja (mm) na postaji Pazin, Botonega i brana Letaj (1998.-2018.)

Mjesec	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	SR 4-10 mj.
Pazin (1998. - 2018.)								
Sr	62,7	91,2	111,8	129,1	117,6	65,4	31,9	87,0
Stdev	12,5	12,1	16,6	21,5	26,5	11,5	4,2	10,0
Cv	0,20	0,13	0,15	0,17	0,23	0,18	0,13	0,12
Max	90,2	115,9	158,9	178,9	186,7	82,7	41,4	109,7
Min	38,4	69,4	91,6	95,4	79,8	43,8	24,6	73,3
Botonega (1998. - 2018.)								
Sr	57,9	86,2	108,2	124,3	110,1	60,1	27,9	82,1
Stdev	8,4	11,7	12,8	17,2	20,7	8,1	3,6	7,0
Cv	0,15	0,14	0,12	0,14	0,19	0,13	0,13	0,09
Max	79,2	109,9	140,2	156,7	142,2	70,7	37,8	93,1
Min	44,1	65,5	84,7	88,8	74,3	44,6	20,2	68,9
Brana Letaj (1998. - 2018.)								
Sr	59,2	87,1	112,2	129,5	116,4	64,1	26,1	85,6
Stdev	11,0	14,9	14,0	20,3	22,0	10,3	3,4	7,8
Cv	0,19	0,17	0,125	0,16	0,19	0,16	0,13	0,09
Max	87,4	113,9	145,1	160,9	154,8	89,3	31,1	100,7
Min	42,1	59,5	88,6	79,9	76,1	44,1	17,9	65,6



Slika 3.1.10. Hod srednjih višemjesečnih (od travnja do listopada) isparavanja na postajama Pazin, Botonega i brana Letaj (1998. – 2018.)



Slika 3.1.11. Unutar godišnja raspodjela mjesečnih isparavanja na postaji Pazin od travnja do lipnja u razdoblju od 1998. do 2018.

Iz danih prikaza vidljivo je da postoji relativno velika podudarnost u mjesečnim količinama isparavanja na sve tri lokacije, te da je bliska i prosječna mjesečna količina isparavanja za mjesec u kojima se isparavanje prati (od travnja do listopada). Prosječna mjesečna količina isparavanja u Pazinu su najveća i iznose 87,0 mm, na brani Letaj 85,6 mm, a najniže na brani Botonega 82,1 mm, razlog čemu može biti i blizina same akumulacije koja generira veću vlagu u zraku i smanjene količine isparavanja. Unutar godine na postaji Pazin, isparavanja su prosječno najveća u kolovozu (117,6 mm), a od mjeseci u kojima se prati, najmanja u listopadu (31,9 mm). Zabilježeni ekstremi su također u Pazinu - 186,7 mm u kolovozu, odnosno prosječno dnevno 6,2 mm.

3.2. Geološki i hidrogeološki opis šireg analiziranog područja

3.2.1. Opće geološke značajke

Na području Istre, s geološkog stanovišta važno je istaknuti sudaranje dviju velikih strukturalnih jedinica Dinarida. To su Jadranska mikroploča Istra i Adriatik (Prelogović i sur., 1999), čiji je međusobni odnos vidljiv na istočnom i sjevernom dijelu poluotoka - ljuskave strukture. Kada se govori o litostratigrafskoj građi Istarskog poluotoka treba uzeti u obzir dvije navedene megastrukturalne jedinice, gdje postoje određene razlike u litološkom sastavu stijena. Područje istraživanja obuhvaćeno ovim projektom nalazi se na Jadranskoj mikroploči Istri, unutar koje je formiran i sliv Pazinčice i utjecajno područje u dolini rijeke Raše, Raškom zaljevu i južnom dijelu Istarskog poluotoka.

Za područje sliva rijeke Pazinčice, kao i nizvodno područje utjecaja ponora na vodne resurse koji se najvećim dijelom nalaze na desnoj obali rijeke Raše izrađena je Osnovna geološka karta, koju pokrivaju slijedeći listovi M 1: 100.000 s odgovarajućim Tumačima:

- List Labin (Šikić i Polšak, 1973)
- List Rovinj (Polšak i Šikić, 1973)

Područje južnog dijela Istarskog poluotoka, nizvodno od izvora u dolini rijeke Raše, pokriveni su listovima Osnovne geološke karte M 1:100.000 s odgovarajućim Tumačima:

- List Cres (Magaš, 1973)
- List Pula (Polšak, 1970)

Najstarije registrirane naslage u Istri su **gornjojurske starosti (J₃)** na zapadnom dijelu poluotoka između Rovinja i Poreča, gdje izgrađuju jezgru Istarske antiklinale. Litološki su to dobro uslojeni do pločasti vapnenci smeđe i sive boje ukupne debljine do 200 m. Ovaj litostratigrafski član je poznat po eksploataciji arhitektonsko-građevinskog kamena Kirmenjak.

Naslage donje kredne starosti (K₁) periklinalno okružuju starije gornje jurske naslage zapadno istarske antiklinale. Litološki je to izmjena uslojenih vapnenaca, dolomita i pločastih vapnenaca. U tim se naslagama između Žminja i Pule pojavljuju eksploataбилne naslage kvarcnog pijeska. Ukupna debljina karbonatnih stijena donjokredne starosti je oko 1.200 m. Donjokredna serija završava kompleksom vapnenačkih i dolomitnih breča, čije se prostiranje može pratiti smjerom sjever – jug u centralnom dijelu poluotoka.

Naslage gornjokredne starosti (K₂) se nastavljaju kontinuirano na naslagama donje krede i izgrađuju najveći dio istočnog dijela Istarskog poluotoka, pa i područja sliva, koji se drenira prema rijekama Pazinčici i Raši i izvorima na južnom dijelu poluotoka. Započinju grebenskim rudistnim vapnencima svjetlo sive i bijele boje, na kojima slijede uslojeni rudistni vapnenci i konačno serija završava pločastim vapnencima s pojavama rožnjaka. Ukupna debljina naslaga gornje krede je oko 1.300 m. Krajem gornje krede dolazi do okopnjavanja najvećeg dijela Dinarida uključivo i megastrukturalne jedinice Jadranska mikroploča Istra. Tijekom dugotrajnih procesa okršavanja stvorene su duboke vrtače ispunjene boksitom. Karbonatne okršene stijene gornjo kredne starosti izgrađuju najveći dio krškog područja nakon poniranja rijeke Pazinčice i sliva izvora u kanjonu rijeke Raše.

Paleogen (Pg) započinje transgresijom mora, u prvoj fazi dizanja slatkovodnih sustava pod jakim utjecajem mora i zatim potpunog prevladavanja marinskih uvjeta. Najstarije naslage paleogenske starosti su tzv. kozinske naslage s pojavama ugljena u Raši, Labinu i Potpićnu, na kojima slijede vapnenci marinskog postanka (miliolidni, alveolinski i numulitni). Debljina ovih naslaga je do 400 m. Tijekom paleogena dolazi do postupnog prijelaza iz karbonatnog u klastični tip sedimentacije. Prvo nastaju laporoviti vapnenci i lapori, a zatim prave klastične naslage fliša, koje izgrađuju centralni dio Istarskog poluotoka. U litološkom sastavu prevladava fino klastična komponenta s čestim proslojcima pješčenjaka, vapnenačkih breča, konglomerata i vapnenaca.

U **kvartaru (Q)** se talože sedimenti s povećanim utjecajem kopnenih materijala nastalih trošenjem orogeneza uzdignutih područja. Kvartar je karakteriziran čestim klimatskim promjenama i erozijskih djelovanja vode, važnog čimbenika u razvoju krških procesa u Dinaridima. Prva ledena doba su donijela znatno sniženje mora u Jadranskom bazenu, u sklopu kojeg Istarski poluotok treba promatrati kao jedinstvenu kopnenu cjelinu zajedno s talijanskom stranom Jadrana. Rijeke s južnih Alpa su donosile ogromne količine klastičnog materijala, koji se taložio u delti prostiranja do razine Dugog otoka. Iz te faze su danas vidljivi na površini terena ostaci eolskih sedimenata na rubnim otocima delte (Susak, Unije, Mali Lošinj) i rubnim dijelovima Istarskog poluotoka (područje između Umaga i Savudrije). Istarske rijeke, pa i rijeka Raša, bile su vrlo aktivne u donosu uzvodno erodiranog materijala (aluvijalne naslage). Poslije zadnjeg ledenog doba more poplavljuje sjevernojadranski prostor i duboko se uvlači u kanjon rijeke Raše, gdje u najmlađem razdoblju kvartara nastaju marinski sedimenti različitih debljina. Crvenica je na Istarskom poluotoku vrlo rasprostranjena i mjestimice je značajnih debljina, što je rezultat dugotrajnog kopnenog razdoblja na poluotoku.

Iz litostratigrafskog opisa Istarske mikroploče je razvidno da u geološkoj građi poluotoka prevladavaju karbonatne stijene s vrlo značajnim udjelom klastičnih naslaga fliša, posebice u slivu rijeke Pazinčice, koji je u cijelosti formiran u području izgrađenom od klastičnih fliških naslaga Paleogenske starosti. Razlomljenost karbonatnih stijena je u direktnoj ovisnosti o **tektonskim aktivnostima**, koje su tijekom geološke prošlosti Jadranske mikroploče, pa i ranije, u više navrata zahvaćali Dinaride. Temeljni uzroci pritisaka i dinamike Dinarida leže u efektima subdukcije u rubnim dijelovima kontinentalnih ploča. Istarski poluotok je dio dezintegrirane Jadranske karbonatne platforme. Uzročnici deformacija recentnog strukturnog sklopa i pojave potresa su tektonski pokreti, čije je ishodište u pomacima Jadranske mikroploče prema S – SZ, što uzrokuje pojavu jakih kompresija u južnim Alpama i sjevernim Dinaridima. Posljedica je veliki broj reversnih pomaka u zonama kompresije. Za Jadransku mikroploču Istru su karakteristične rotacije, koje uzrokuju kompresije duž Ćićarije i Učke uz nastajanje brojnih reversnih rasjeda.

Kao rezultat pritisaka Istarske mikroploče nastaju brojne reversne strukture u planinskom području Ćićarije na sjevernoj strani poluotoka, koje se nastavljaju duž zapadne strane Učke preko Plomina sve do Koromačnog. Pomaci Istarske mikroploče prema sjeveru i njena rotacije prema sjeveroistoku imala je za posljedicu pucanje mikroploče kao odraz relaksacijih događanja u tom prostoru. U prvom redu su to duboka pucanja mikroploče duž graničnih područja antiklinalnih i sinklinalnih dijelova mikroploče između karbonatnih i klastičnih stijena, gdje je došlo do vertikalnih međusobnih kretanja i uglavnom izdizanja antiklinalnih dijelova struktura. Tipičan takav rasjed odvaja centralno-istarski fliški bazen od karbonatnog područja južne Istre, a sličnih je karakteristika rasjed kod Istarskih Toplica. Drugi tip rasjedanja nastao je uslijed rotacija Istarske mikroploče

prema SI. Taj tip rasjeda je prouzročio otvaranje dolina rijeka Mirne na zapadnoj i doline rijeke Raše na istočnoj strani poluotoka. Treći ne manje važan smjer rasjedanja je uzdužno pucanje Istarske mikroploče, duž kojeg je došlo do tonjenja zapadnog dijela poluotoka južno od fliškog bazena. Sve su to tektonski elementi važni za okršavanje karbonatnih stijena na poluotoku i formiranje slivova prema izvorima uz rijeke Rašu na istočnoj i rijeku Mirnu na zapadnoj strani poluotoka (Biondić, R. i sur., 2011).

3.2.2. Hidrogeološke značajke

Sliv Pazinčice i njeno utjecajno područje dio su tipičnog krškog područja Dinarida, koje se generalno smatra dobro vodopropusnim medijem, međutim različitosti u geološkoj građi razlog su različitosti hidrogeoloških svojstava litoloških članova. Sliv i tok Pazinčice tipičan su primjer tzv. binarne strukture, koja se odlikuje pretežno vodonepropusnim fliškim slivnim područjem same Pazinčice, te nastavkom njenog podzemnog toka u vodopropusnim karbonatnim strukturama. Na području sliva Pazinčice i njenog utjecajnog područja mogu se izdvojiti tri osnovne grupe stijena različitog stupnja vodopropusnosti:

1. Karbonatne stijene
2. Klastične stijene
3. Nevezane i slabo vezane naslage

Karbonatne stijene su podijeljene u tri skupine različitog stupnja vodopropusnosti ovisno o litološkom sastavu. Vapnenci su uglavnom dobro vodopropusni, izmjena vapnenaca i dolomita osrednje vodopropusna, a čisti dolomiti ulaze u skupinu slabo vodopropusnih karbonatnih stijena. U slučaju sliva Pazinčice od ponora u Pazinu do najvećih krških izvora u dolini rijeke Raše dobro vodopropusne stijene su rudistni vapnenci gornjokredne starosti, osim pločastih vapnenaca s rožnjacima i klastičnim proslojcima u završnom dijelu gornje krede, koji ulaze u skupinu osrednje vodopropusnih karbonatnih stijena.

Klastične stijene, koje pripadaju fliškoj seriji eocenske starosti su u cjelini vodonepropusne zbog velikog učešća finoklastične komponente. Te stijene ili predstavljaju barijere kretanju podzemne vode u karbonatnim vodonosnicima ili kao u slučaju sliva Pazinčice i utjecajnih nizvodnih izvora izgrađuju rubne dijelove sliva, s kojih vode nakon površinskog tečenja poniru u karbonatni vodonosnik i na taj način postaju tipično krške vode. Unutar naslaga fliša ima proslojaka pješčenjaka ili vapnenaca, gdje se mogu formirati lokalni manji vodonosnici s pojavama malih izvora, koji su na područjima izgrađenim od fliških stijena vrlo često kaptirani za lokalnu vodoopskrbu.

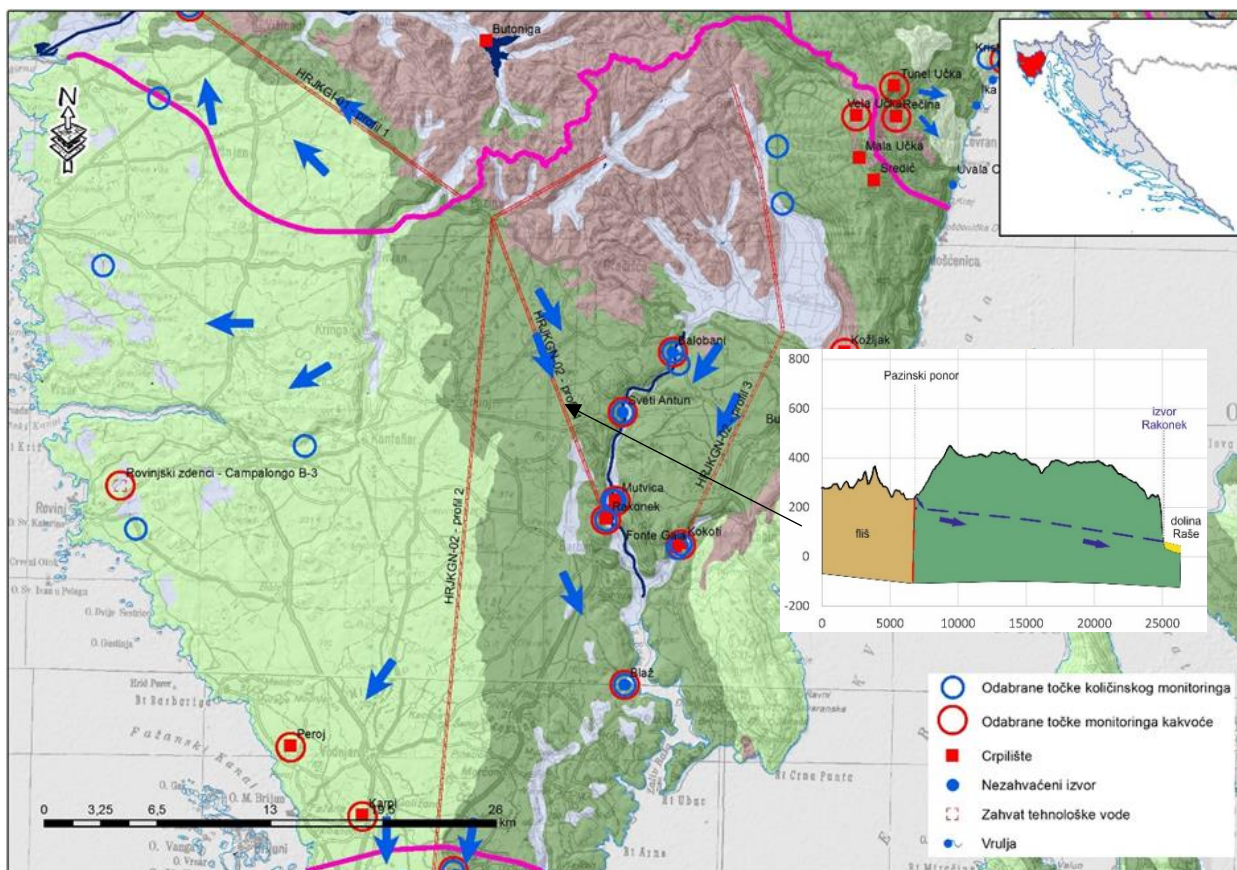
Klastične naslage kvartarne starosti (jezerski, eolski i aluvijalni sedimenti i crvenica) uglavnom nemaju veće dubinsko prostiranje i uobičajeno se iskazuju kao naslage promjenljive vodopropusnosti relativno male debljine. Propusnost ovih naslaga je međuzrnska, ovisna o sadržaju finoklastične komponente.

Hidrogeološki odnosi su direktno ovisni o litološkim svojstvima stijena, strukturno-tektonskoj građi terena, kao i klimatskim promjenama i erozijskim procesima tijekom najmlađeg geološkog razdoblja Kvartara. Promatrajući Istarski poluotok s hidrogeološkog aspekta karbonatne stijene su

generalno vodopropusne, a fliške stijene vodonepropusne, odnosno karbonatne stijene su potencijalni vodonosnici, a klastične fliške stijene barijere kretanju podzemne vode s pretežito površinskim otjecanjem. Naslage kvartarne starosti nemaju većeg hidrogeološkog značaja, ali u zoni istjecanja u dolini rijeke Raše zbog svoje debljine imaju funkciju lokalnih barijera.

Vodotok Pazinčica drenira centralni dio Istarskog poluotoka izgrađen od vodonepropusnih naslaga fliša i voda površinski otječe do grada Pazina, gdje ponire u karbonatno podzemlje južnog dijela poluotoka. Vodotoku su duž toka mijenjali ime iako se radi o jedinstvenom drenažnom sustavu. Od ponora uzvodno naziv je Pazinski potok ili Pazinčica, srednji dio toka ima naziv Japlenica, a najuzvodniji dio Borutski potok. Veliki dio Borutskog potoka je kanaliziran radi sprječavanja poplava duž vodotoka, čime je ubrzano otjecanje. Tijekom sušnih razdoblja dotoci u Pazinski ponor se bitno smanjuju, pa čak poneku godini vodotok presušuje i nema poniranja duže vremena. Nakon poniranja vodotoka u krško podzemlje na Pazinskom ponoru, vode Pazinčice postaju podzemne vode, koje prihranjuju centralno istarski vodonosnik s brojnim krškim izvorima u priobalju južnog dijela poluotoka. Na taj način na obrađivanom području vodotoka Pazinčice i njenog utjecajnog područja postoje dva potpuno različita sustava tečenja vode - pretežito površinsko na dijelu sliva izgrađenom od vodonepropusnih fliških stijena i podzemno nakon poniranja vode u Pazinskom ponoru.

Sliv vodotoka Pazinčice, kao i najveći dio utjecajnog nizvodnog područja u skladu s EU WFD pripadaju **Tijelu podzemne vode (TPV) Središnja Istra**, koje obuhvaća sjeveroistočni i najveći dio središnje Istre (Slika 3.2.1). Geološki je TPV Središnja Istra vrlo kompleksno područje, koje obuhvaća dio ljuskavih struktura istočnog dijela brdskog područja Ćićarije, zatim dio navlačne strukture planine Učka na istočnoj strani poluotoka, istočni dio centralno-istarskog fliškog bazena i konačno okršeno karbonatno područje s južne strane fliškog bazena. Na području Ćićarije i Učke prevladava izmjena vapnenaca i dolomita gornje kredne starosti i vapnenaca paleogenske starosti s prijelazom u klastične naslage fliša također paleogenske starosti. Područje između Gračišća i Boljuna pripada centralno-istarskom fliškom bazenu s naslagama klastičnih stijena eocenske starosti. U jugozapadnom dijelu poluotoka prevladavaju vapnenci i dolomiti jurske i kredne starosti (Biondić, R. i sur., 2016).



Slika 3.2.1. Konceptualni model TPV Središnja Istra (Biondić, R. i sur., 2016)

Vodotok Pazinčica s njenim izvorišnim dijelom Borutskim potokom ima sliv u središnjem dijelu fliškog bazena izgrađenog isključivo od vodonepropusnih klastičnih stijena, što znači praktički isključivo površinsko otjecanje oborinskih voda i vrlo malu infiltraciju u relativno tanke pokrivače rastrošenih fliških stijena u pripovršinskom dijelu sliva - pojave malih izvora. Vode vodotoka Pazinčica poniru u Pazinskom ponoru. Veliki dio uzvodnog dijela vodotoka (Borutski potok) je kanaliziran zbog stalnih poplava duž doline (Borut, Cerovlje). Kanaliziranjem vodotoka ubrzano je otjecanje i smanjene poplave u tom dijelu sliva, ali zato su povećani poplavni valovi i uspori u ponornoj zoni, čiji su kapaciteti poniranja manji u odnosu na maksimalne dotoke vode.

Obzirom da je cijeli sliv vodotoka Pazinčice i Borutskog potoka izgrađen od vodonepropusnih stijena, otjecanje je gotovo u cijelosti površinsko s brzom koncentracijom toka nakon jakih oborina, što ga karakterizira kao tipični bujični vodotok. Poplave ponorne zone i dijela vodotoka Pazinčica do vodomjera Dubravice uvjetovane su intenzitetom i dužinom trajanja oborina s jedne strane i prijemnim kapacitetom ponora na kontaktu fliškog bazena i vodopropusnog karbonatnog kompleksa s južne strane fliškog bazena, s druge strane. Tijekom sušnih razdoblja dotoci u Pazinski ponor se bitno smanjuju, pa čak poneku godinu vodotok Pazinčica presušuje i nema poniranja po nekoliko ljetnih mjeseci. Sve vode vodotoka Pazinčica poniru u krško podzemlje na Pazinskom ponoru i pretvaraju se u podzemne vode.

Važno mjesto u hidrogeologiji Istre ima središnji istarski vodonosnik. Geološki je to dio zapadne istarske antiklinale s karbonatnim stijenama generalnog pružanja sjever – jug. Vodonosnik se zasigurno drenira prema istočnoj strani poluotoka prema izvorima na desnoj obali rijeke Raše,

dijelom prema južnom dijelu poluotoka, gdje su izgrađeni brojni kaptažni zahvati vode, a manjim dijelom prema zapadnoj obali poluotoka. Svi ti podzemni tokovi utvrđeni su brojnim trasiranjima.

Središnji istarski vodonosnik se prihranjuje površinskim vodama koje dolaze s fliškog područja i oborinama, koje padnu na sam vodonosnik. Za krški vodonosnik u južnom dijelu Istarskog poluotoka karakteristični su postojanje podzemne vode, tokovi podzemne vode prema krškim izvorima i vrlo malo pojava površinskih, uglavnom bujičnih tokova. Podzemni tokovi su relativno brzi u odnosu na međuzrnske vodonosnike, ali ipak postoje velike razlike u odnosu na površinske tokove zbog retencijskih sposobnosti krškog podzemlja. Vode se zadržavaju u krškom podzemlju i nekoliko godina, a na krškim izvorima istječe "mješavina" kratko i dugo zadržavajućih voda. Kratko zadržavajuće vode istječu najvećim dijelom tijekom kišnih razdoblja, a dugo zadržavajuće tijekom sušnih razdoblja, kada nema novih dotoka vode u podzemlje. Takva dinamika podzemne vode u krškim vodonosnicima utvrđena je tek nakon primjene kompleksnih hidrogeokemijskih metoda istraživanja, kojim je moguće definirati nadmorsku visinu prihranjivanja, dužinu zadržavanja vode u podzemlju i cijeli niz parametara, koji omogućuju takove hidrogeološke interpretacije.

Prva izotopska istraživanja podzemnih voda za područje Istre radio je Institut za geološka istraživanja po narudžbi Hrvatskih voda u sklopu studije "Vodnogospodarska osnova R. Hrvatske - GIS Istre - Hidrogeologija" (Biondić B. i sur., 1999). Može se izdvojiti nekoliko grupa izvora različitih područja prihranjivanja kao što su Vela Učka i Sv. Ivan s prihranjivanjem na većoj nadmorskoj visini gorskog područja Ćićarije i Učke, zatim izvori Fonte Gaia, Bubić jama i rudničke vode Labina s područja Učke, izvori Gradole, Rakonek i Bulaž iz centralnoistarskog vodonosnika i kaptažni zahvati na području južne Istre pod utjecajem mora (Šišan, Funtana).

Radioaktivni izotop vodika Tricij (^3H) se koristi za određivanje srednjeg vremena zadržavanja podzemne vode u vodonosniku. Iz provedenih ispitivanja je vidljivo da je današnja aktivnost tricija u podzemnim vodama u skladu s aktivnošću sadašnje atmosfere. Postojeće varijacije tricija odraz su sezonskih promjena koncentracija tricija u padalinama na području prihranjivanja pojedinih izvora. Za detaljnije određivanje srednjeg vremena zadržavanja vode u vodonosniku potrebno je pratiti promjene radioaktivnih i stabilnih izotopa tijekom najmanje dvije hidrološke godine u mjesečnim intervalima.

Prema tome, ispitivanje stabilnih i radioaktivnih izotopa podzemnih voda može ukazati na nadmorsku visinu najvećeg dijela prihranjivanja važnog za određivanje slivova i dužinu zadržavanja vode u krškom podzemlju, koje pokazuju da krški slivovi nisu jednostavni in - out sustavi kao što se smatralo ranije. To je značajno za razumijevanje dinamike vode u slivu vodotoka Pazinčice i njenog utjecajnog područja nakon poniranja u krško podzemlje.

Krški dijelovi sliva vodotoka Pazinčice na južnom dijelu Istarskog poluotoka duboko su okršeni s brojnim pojavama speleoloških objekata obzirom na oko 150 m nižim razinama mora tijekom glacijalnih perioda kvatara. Na području sliva vodotoka Pazinčice i njenog utjecajnog područja najznačajnija speleološka pojava je Pazinska jama. Premda nije riječ o posebno velikom objektu, njegova morfološka vrijednost, hidrogeološka funkcija pri dreniranju sliva Pazinčice i mogući ekološki utjecaji daju mu izuzetan značaj u bilo kakovom razmatranju podzemnih vodnih resursa u južnom dijelu Istarskog poluotoka. Nastala je uz rasjedni kontakt između centralnoistarskog fliškog bazena i krškog područja jugozapadnog dijela Istarskog poluotoka, a prostire se kroz

okršene karbonatne stijene i odvodi vode Pazinčice prema centralnoistarskom karbonatnom podzemnom vodonosniku. Speleološki je istraženo samo 270 m otvorenog špiljskog prostora, ali zbog prijema velike količine vode zasigurno su dimenzije objekta daleko veće, ali za sada neprohodne istraživačima.

Osim Pazinskog ponora na području TPV Središnja Istra registriran je i istražen velik broj speleoloških objekata uglavnom kombinacije krških jama i dubokih horizontalnih kanala, od kojih neki dopiru do statičke razine podzemne vode. Prethodnim istraživanjima (Biondić, B. i sur., 1999) izrađena je baza podataka speleoloških objekata na tom području. Tom su prilikom izdvojena dva speleološka objekta: jama Kobiljak i ponor Bregi, koji se nalaze jugoistočno od Pazina, prema dolini rijeke Raše. Ponor Bregi kod Jakačića sa svojih 2055 m podzemnih kanala (dubina 273 m) autori navode kao najdužu istraženu speleološku pojavu u Istri. Glavna karakteristika objekta je stalna prisutnost podzemnog toka u njegovim dubljim dijelovima, što ima za posljedicu mogućnost speleoloških istraživanja samo u izrazito sušnim razdobljima. Sličnih karakteristika je i obližnja, preko 800 m duga i 286 m duboka jama Kobiljak.

Prirodni ponori i krške jame imaju izuzetnu važnost pri hidrogeološkim istraživanjima radi mogućnost efikasnog trasiranja podzemnih tokova, kojima se određuju smjerovi i prividne brzine podzemnih tokova kroz krške vodonosnike. Ponor u Pazinu (Pazinska jama) trasiran je do sada tri puta u različitim hidrološkim uvjetima (1967, 1978, 1981). Prvo trasiranje je izvedeno 16. studenoga 1967. godine sa 140 kg Na-fluoresceina (Dešković, 1968) pri protoci vodotoka Pazinčica od oko 80 – 100 l/s. U navedenim hidrološkim uvjetima prva pojava boje je registrirana na izvoru Sv. Anton i obližnjim izvorima Sušnica i Sušak, a tek nešto kasnije na izvorima Rakonek - Grdak i rudniku Potpićan i izvoru Jaškovića. Interesantno je istaći da je oko 90 % boje isteklo na prvoj grupi izvora, a na izvoru Rakonek tek oko 6% ubačene boje. U tragovima je boja registrirana i na priobalnom izvoru Blaž u Raškom zaljevu. Autor ističe da je grupa izvora Sv. Anton direktno vezana za Pazinski ponor, a da izvor Rakonek u datim hidrološkim uvjetima podzemnu vodu dobiva i iz drugih dijelova sliva na središnjem dijelu Istarskog poluotoka.

Drugo trasiranje Pazinske jame izvedeno je 11. ožujka 1978. godine sa radioaktivnim tricijem (Kubelka, 1979) u hidrološkim uvjetima visokih voda. Traser je 12 dana nakon ubacivanja prvo registriran na izvorima Sušnica i Sv. Anton, a zatim 18 dana nakon ubacivanja traser na izvorima Grdak i Rakonek. Najviše traser je izmjereno na izvoru Sušnica (50%), a zatim oko 20% na izvoru Sv. Anton, izvoru Grdak 12% i izvoru Rakonek 7%. Traser nije registriran na izvorištu Boloban uzvodno i priobalnom izvoru Blaž u Raškom zaljevu.

Treće trasiranje je također rađeno radioaktivnim tricijem injektiranim u Pazinsku jamu 8. srpnja 1981. godine u vrijeme niskih voda (Kubelka i Kvastek, 1983). Interesantno je da je prva pojava traser registrirana na priobalnom izvoru Blaž (40%) u Raškom zaljevu 74 dana nakon ubacivanja, a zatim je nakon 83 dana registriran na izvorima Rakonek (12,7%), Grdak (16,3%), Sušak (4,6%), Sv. Anton (4,2%) i Sušnica (9,6%). Može se zapaziti da je tijekom niskih voda, poniruća voda iz ponora Pazinčice intrudirala dublje u centralno istarski vodonosnik i da su najveće količine traser izmjerene na udaljenom priobalnom izvoru Blaž.

Središnji istarski krški vodonosnik i indirektno rijeka Pazinčica prihranjuju izvore na desnoj obali rijeke Raše nizvodno od Čepić polja (Balobani, Sv. Anton, Rakonek, Grdak – ukupna minimalna izdašnost oko 700 l/s), priobalni izvor Blaž u Raškom zaljevu, izvorišta u južnom dijelu poluotoka i

izvorišta na zapadnoj obali poluotoka. Potvrđeno je to s nekoliko trasiranja podzemnih tokova iz ponorne zone Pazinčice i drugih ponora/jama u području centralno-istarskog vodonosnika. Od navedenih velikih krških izvora Rakonek, Gradole i izvori na južnom dijelu poluotoka su kaptirani za vodoopskrbu grada Pule, Rovinja i Poreča, a svi ostali izvori su potencijal budućeg razvoja vodoopskrbe na području Istre.

Treba naglasiti da određene količine podzemne vode iz centralno-istarskog vodonosnika otječu prema najjužnijem dijelu poluotoka, gdje je podzemna voda kaptirana brojnim kopanim i bušenim zdencima. Zahvati su vezani za zonu dobro vodopropusnih vapnenaca gornjokredne starosti. Dio tih zahvata vode je ili je bio u sustavu javne vodoopskrbe grada Pule, a gotovo 1000 zdenaca je izvan kontrole i koristi se u poljoprivredi (Biondić, R. i sur., 2016).

Izvedena trasiranja podzemnih tokova iz Pazinske jame su pokazala da vode vodotoka Pazinčica imaju veliki utjecaj na izvorišta uz desnu obalu rijeke Raše, međutim jednako tako da je taj utjecaj promjenljiv u različitim hidrološkim uvjetima i da dijelovi karbonatnog sliva s južne strane fliškog bazena imaju i te kako značajan utjecaj na režim istjecanja izvora uz desnu obalu rijeke Raše, posebice u uvjetima niskih voda. Takva razmišljanja su uputila na potrebu daljnjih trasiranja podzemnih tokova iz centralnog dijela Istarskog poluotoka. U sklopu hidrogeoloških istraživanja za potrebe zaštite izvorišta Rakonek, Sv. Anton i Bolobani izvedeno je 25. ožujka 1982. godine trasiranje jame kod mjesta Cera sa 100 kg Na-fluoresceina (Haček i Hanich, 1982) uz injektiranje oko 150 m³ vode. Traser je već nakon 43 sata registriran na izvoru Rakonek u maksimalnim koncentracijama. Jednako tako brzo i koncentrirano se traser pojavio na priobalnom izvoru Blaž (150 sati). Pojava trasera još je registrirana na izvoru Česuni uz rub Raškog zaljeva i priobalnom izvoru u uvali Vinjole. Treba napomenuti da su pojave trasera u tragovima detektirane na Pulskim zdencima na južnom dijelu poluotoka.

Eksperimenti trasiranja su nastavljeni 4. travnja 1985. godine injektiranjem 40 kg Na-fluoresceina u Limskoj Dragi kod mjesta Sv. Petar u šumi u centralnom dijelu poluotoka (Haček i sur., 1985). Interesantno je istaći da je traser već nakon 4 dana registriran na izvoru Rakonek, što je tada za istraživače bilo veliko iznenađenje. Traser je registriran i na izvorima u dubokom zaljevu Limska Draga na zapadnoj obali poluotoka, što je već bila značajna potvrda postojanja zajedničkog krškog vodonosnika u centralnom dijelu poluotoka, koji se drenira prema istočnoj, zapadnoj i južnoj strani Istarskog poluotoka.

U sklopu hidrogeoloških istraživanja za potrebe mikrozoniranja zaštitnih mjera podzemnih voda za pojedine objekte, koje se planira izgraditi u području zaštitnih zona izvorišta pitke vode izvedena su još dva trasiranja podzemnih tokova s lokacije Krasa (kamenolom) kod naselja Gračišće i lokacije Ciburi (skladište opasnog i drugog otpada) zapadno od grada Pazina.

Na lokaciji Krasa kod Gračišća su za potrebe eksploatacije tehničkog kamena izbušene brojne istražne bušotine, koje su prije provođenja testa trasiranja ispitane na mogući prihvat vode i trasera i njen transport prema krškom vodonosniku u dubokom krškom podzemlju. U jednu od istražnih bušotina na lokaciji kamenoloma je prema projektu Hrvatskih voda i tvrtke Geo-5 iz Rovinja izvedeno trasiranje s 6 kg Na-fluoresceina 11. 04. 2006. godine u 11 sati. Nakon ubacivanja trasera u bušotinu je ubačeno 20 m³ vode. U planu uzorkovanja su bila tri velika prirodna izvora na desnoj obali rijeke Raše – Rakonek, Sv. Anton i Bolobani. Traser je u uzorcima registriran prvo na izvorištu Sv. Anton 17 dana i 9 sati nakon ubacivanja trasera i na izvorištu Rakonek nakon 29 dana i 9 sati.

Na izvorištu Balobani pojava trasera nije registrirana. Izračunate prividne brzine podzemnog toka od mjesta ubacivanja trasera do pojave na izvorima Rakonek i Sv. Anton su bile 0,6 i 0,5 cm/s.

Na lokaciji Ciburi zapadno od Pazina bila je predviđena izgradnja skladišta za opasni i drugi otpad, za što je predviđena izrada studije mikrozoniranja ukoliko se nalazi u zoni zaštite izvorišta pitke vode. Na lokaciji je pronađena prirodna jama, za koju se prethodnim ispitivanjima utvrdio dobar prijem vode. 15 kg Na-fluoresceina je ubačeno u jamu 12. 09. 2014. oko 11 sati 30 minuta. U mrežu uzorkovanja su uključeni izvori na desnoj obali rijeke Raše Bolobani, Sv. Anton i Rakonek. Traser je prvo registriran na izvoru Sv. Anton nakon 16 dana i 7 sati, a na izvoru Rakonek nakon 21 dan i 3 sata. Na izvoru Bolobani traser nije registriran. Prividna brzina podzemnog toka prema izvoru Sv. Anton bila je 1,03 cm/s, a prema izvoru Rakonek 0,98 cm/s.

Iz navedenih rezultata trasiranja podzemnih tokova je razvidno da vodotok Pazinčice gravitira u cijelosti prema krškim izvorima na desnoj obali rijeke Raše, koji su predmet ovog projekta, međutim hidrogeološka situacija nije baš jednostavna. U prvom redu treba istaći veće prividne brzine podzemnog toka od ponora Pazinčice prema izvorima na desnoj obali rijeke Raše od onih mjerenih iz centralnog dijela krškog vodonosnika, što pokazuje jače okršavanje u zoni tih podzemnih tokova, odnosno formiranje privilegiranih pravaca tečenja.

Vode Pazinčice poniru u krško podzemlje centralno-istarskog vodonosnika, ali nakon poniranja nema jednostavnog otjecanja prema istočnoj strani poluotoka kao što se to ranije mislilo, već se vode Pazinčice pridružuju podzemnim vodama centralnog dijela poluotoka. U različitim hidrološkim uvjetima podzemni tokovi se mijenjaju, prvenstveno brzine, a potom i koncentracije tokova prema mjestima najvećih stalnih izviranja. U vrijeme visokih voda najveći pritisak vode dolazi iz zone poniranja vodotoka Pazinčica, pa su brzine i koncentracije trasera najveće prema najbližim izvorima na desnoj obali rijeke Raše. U vrijeme niskih voda poniranje vode u Pazinskoj jami se bitno smanjuje, pa čak ponekad i potpuno prestaje i tada se jače aktiviraju drenažna usmjerenja prema najvećim izvorima (Rakonek, Blaž, Sv. Anton). Temeljni tokovi izvorišta tijekom ljetnih sušnih razdoblja su vezani za centralni krški vodonosnik, koji održava istjecanje tijekom ljetnih sušnih razdoblja. Zajedničko porijeklo podzemnih voda izvora Rakonek i Gradole u dolini rijeke Mirne iskazano je i rezultatima istraživanja stabilnih izotopa kisika i vodika (Biondić, B. i sur., 1999). Prema tome, tijekom sušnih razdoblja, posebice ljetnih treba računati na količine vode, koje dotječu iz centralno istarskog krškog vodonosnika. Dotoci podzemne vode iz vodonosnika prema izvorima su vezani uz jače rasjedne zone usmjerene prema centralnom dijelu poluotoka.

Zona istjecanja na istočnoj obali poluotoka su krški izvori smješteni uz desnu obalu rijeke Raše nizvodno od Potpićna. Dio kanjona rijeke Raše potopljen je morem tijekom zadnjeg porasta razine mora i to je danas duboki Raški zaljev, koji se zavlači nekoliko kilometara u Istarski poluotok. Priobalni izvor Blaž je u ranijem razvoju doline rijeke Raše imao jednaki hidrogeološki status kao i izvor Rakonek, međutim rastom razine mora izvor je izdignut u obalno područje i danas je pod jakim utjecajem mora. Kolika je stvarna dubina kanjona rijeke Raše teško je procijeniti, ali iskustva s ostalih ušća rijeka u Jadran govore u prilog značajne dubine, pa čak i do stotinu metara ispod današnje razine mora. Dolina je ispunjena kvartarnim nanosom, u čijem sastavu zasigurno prevladava finoklastični sediment nastao erozijom fliškog bazena. Iskonsku dubinu kanjona pokazuje i uzlazni tipovi izvora u formi "oka". Duž doline su vidljivi čak i ostaci eolskih sedimenata delte sjeverno jadranskih prostora. Debljina i litološki sastav naslaga kvartarne starosti u kanjonu

rijeke Raše garancija su ograničenog utjecaja mora na slatkovodne sustave. Utjecaji su mogući u najnižim dijelovima ušća preko površinskih vodotoka na što treba pri zahvatima slatkih voda voditi računa.

3.2.3. Opis izvora u dolini Raše povezanih s Pazinčicom i njihovo stanje

Izvor Rakonek je tipični krški uzlazni izvor (Slika 3.2.2), a nalazi se uz desnu obalu rijeke Raše, oko 7,5 km uzvodno od ušća rijeke Raše u more. U prirodnim uvjetima imao je oblik jezera promjera 22 m nad kojim je izgrađeno crpilište (Ravlić i sur., 2007). Preljevne vode izvora Rakonek istječu u rijeku Rašu, a kota preljeva iznosi 3,72 m n.m.

Izvor je zahvaćen za potrebe javne vodoopskrbe grada Pule 1961. godine, na njemu se crpi oko 250 l/s te predstavlja centralno mjesto vodoopskrbnog sustava Grada Pule. Za razdoblje od 1962. do 2018. godine minimalne srednje mjesečne crpne količine su iznosile 94 L/s, prosječne 157 L/s, a maksimalne 215 L/s. Najviše se crpi tijekom ljetnih mjeseci kada je povećana potreba za vodom zbog turističke sezone.



Slika 3.2.2. Crpilište Rakonek

Za potrebe izrade Plana upravljanja vodnim područjima 2016.-2021. (NN 66/16) obrađeni su podaci kemijskih analiza sirove vode s izvora Rakonek kroz ocjenu stanja tijela podzemne vode i ocjenu rizika (Biondić, R. i sur., 2016). Rezultati analize su prikazani u Tablici 3.2.1, a svi rezultati su unutar dozvoljenih vrijednosti.

Tablica 3.2.1. Kakvoća sirove vode na crpilištu Rakonek (Biondić, R. i sur., 2016)

PARAMETAR	TV	75 % TV	RAKONEK				
			2009	2010	2011	2012	2013
pH	6,5 – 9,5	6,85 – 9,15	7,17	7,15	7,21	7,22	7,18
Električna vodljivost	2500	1875	548	561	545	519	545
Nitrati	37,5	28,125	9,11	9,63	7,66	7,50	9,64
Amonij	0,5	0,375	0,0132	0,0128	0,0106	0,0097	0,0114
Pesticidi ukupno	0,5	0,375	-	< LOQ	< LOQ	0,0026	0,0027
Arsen	10	7,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Kadmij	5	3,75	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Olovo	10	7,5	1	1	1	1	1
Živa	1	0,75	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Kloridi	250	187,5	8,97	7,34	8,12	9,72	8,96
Sulfati	250	187,5	9,51	8,97	8,45	8,09	8,56
Ortofosfati	0,2	0,15	0,0265	0,0212	0,0111	0,0130	0,0132
Suma trikloreten i tetrakloreten	10	7,5	-	-	-	0,05	0,05

Srednje godišnje vrijednosti ne prelaze 75% TV

Na izvoru Rakonek povremeno je povišena mutnoća, a slično se događa i na ostalim izvorima na desnoj obali rijeke Raše (Sv. Anton, Balobani). Veliki dio područja prihranjivanja ovih izvora je izgrađen od fliških naslaga na kojima se formiraju površinski tokovi i koji nakon kontakta s karbonatnim stijenkama poniru i prihranjuju vodonosnik. Povećana mutnoća nakon jakih oborina uzrokovana je velikom količinom suspendiranog materijala koji dolazi bujičnim vodotocima s područja izgrađenog od fliških naslaga. Trajanje takvih pojava je nekoliko dana te nakon toga vrijednost pada ispod dozvoljenih 4 NTU. U razdoblje od 2000. do 2007. godine maksimalna izmjerena mutnoća iznosila je 64,1 NTU (Biondić, R. i sur., 2009).

Izvor Sv. Anton je također uzlaznog karaktera, a formiran je u obliku "oka" (Slika 3.2.3). Preljevne količine vode tijekom kišnih razdoblja dosežu maksimalne vrijednosti do 4,4 m³/s, ali tijekom ljetnih sušnih razdoblja padaju na svega 15 l/s (Biondić, R. i sur., 2011).

Sa svrhom zahvaćanja izvora za potrebe vodoopskrbe na izvoru Sv. Anton su tijekom osamdesetih godina prošlog stoljeća rađena hidrogeološka istraživanja s ciljem ulaska u dio statičkih rezervi podzemne vode jer preljevne količine nisu bile dostatne. Probnim crpljenjem izvora Sv. Anton u ljetnom razdoblju 1981. godine je utvrđen kapacitet od oko 195 l/s uz sniženje razine vode u izvoru od 75 cm, što je bio dobar poticaj za daljnja istraživanja. Problem kod crpljenja stvarala su stalna urušavanja materijala sa bokova izvora zbog vibracija crpke (Haček i Hanich, 1981).



Slika 3.2.3. Izvor Sv. Anton

Probim crpljenjem izvora Sv. Anton, bez obzira na tehničke probleme tijekom izvođenja, utvrđeno je da na izvoru postoje značajne količine podzemne vode (195 l/s) tijekom ljetnih sušnih razdoblja, koje je moguće zahvatiti za potrebe vodoopskrbe.

Na osnovu pozitivnih rezultata istraživanja i određenih 195 l/s koje je moguće crpiti za potrebe vodoopskrbe tijekom ljetnih sušnih razdoblja pokrenuta je naredna faza vodoistražnih radova tijekom koje je izvedeno 5 eksploatacijskih zdenaca i crpnom stanicom temeljenoj na 8 armiranih betonskih pilota profila 600 mm raspoređenih u osmerokutu (Slika 3.2.4; Ćuk i sur., 1983)

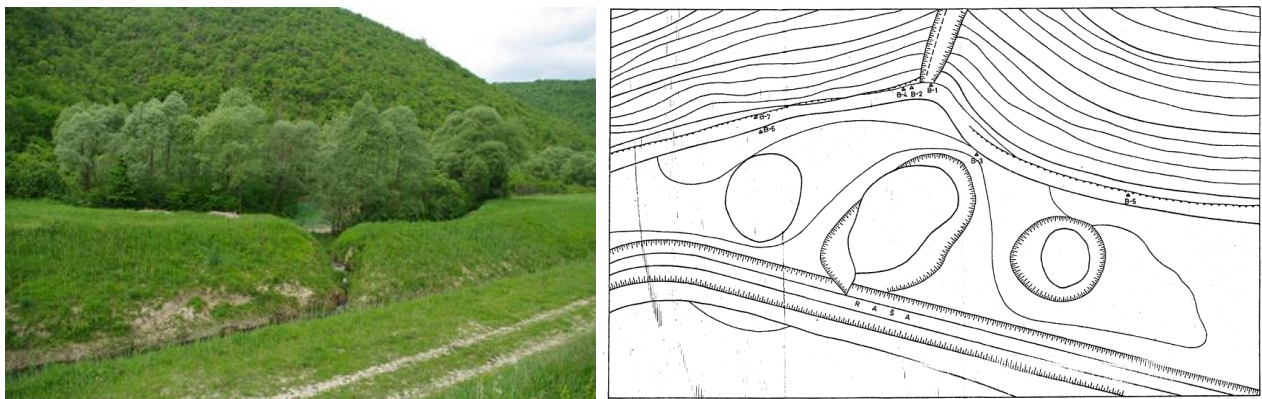


Slika 3.2.4. Izvedeno stanje zdenaca i platforme crpne stanice na izvoru Sv. Anton

Prvo probno crpljenje zdenaca na izvoru Sv. Anton je prema usmenim informacijama očevidaca izvedeno tijekom ljetnog razdoblja 1983. godine, ali ne postoje službeni zapisi niti bilo kakvo izvješće o tim istraživanjima. Prema usmenim informacijama probno crpljenje je rađeno tijekom ljetnog sušnog razdoblja uz ukupno crpljenje od oko 250 l/s, što je izazvalo potpuno isušivanje izvorskog oka (Biondić, R. i sur., 2011). Nakon pojave ekstremne suše 2012.g. koja je uvjetovala i ograničenja u korištenju vododopskrbi, izvor Sv. Anton je povezan u vodoopskrbni sustav

Vodovoda Labin, s mogućnošću njegova povezivanja i s vodoopskrbnim sustavom izvora Rakonek koga koristi Vodovod Pula. Tijekom rujna 2017.g. izvršeno je novo probno crpljenje, ali bez informacija o novoutvrđenim količinama iz razloga što je crpljenje prekinuto zbog pojava velikih voda. Vodovod Labin je u svibnju 2019.g. ishodio vodopravnu dozvolu za zahvaćanje do 250 L/s, odnosno najviše 3.240.000 m³/godišnje.

Izvorište Bolobani se sastoji od tri "oka", od kojih je središnje najveće i iz njega ide preliv prema rijeci Raši. Nalazi se na desnoj obali rijeke oko 3 km nizvodno od ulaska u kanjon kod Podpićna (Slika 3.2.5).



Slika 3.2.5. Izvorište Bolobani

S ciljem određivanja količina za potencijalno zahvaćanje za potrebe vodoopskrbe tijekom 1981. godine izvedeno je probno crpljenje koje je relativno kratko trajalo, a moralo je biti prekinuto zbog urušavanja postolja crpki (Haček i Hanich, 1981). Teško je temeljem rezultata probnog crpljenja prekratkog trajanja ocijeniti količine vode na izvorištu Bolobani tijekom ljetnih sušnih razdoblja, međutim procjenjuje se da su realne mogućnosti negdje oko 70 l/s.

Na izvoru Bolobani su nastavljena istraživanja te je 1985. godine izveden istražno-eksploatacijski zdenac EB-1 do dubine 50 m (Haček i sur., 1986). Tijekom probnog crpljenja istražno-eksploatacijskog zdenca EB-1 kapacitetom od 50 l/s nakon jedne minute sniženje je iznosilo 6,8 m, što je bio prvi znak ograničene izdašnosti zdenca. Najveće mjereno sniženje je bilo 27,5 m od početne razine izmjerene prije početka crpljenja. Tijekom tako velikog sniženja vode u zdencu i opažanoj piezometarskoj bušotini centralno i južno izvorsko "oko" su ostali gotovo potpuno bez vode.

Po izvedenim istraživanjima, koja uključuju probno crpljenje centralnog izvorskog "oka", airliftiranje istražnih bušotina i probno crpljenje izvedenog istražnog zdenca EB-1, istraživači su zaključili da na izvorištu Bolobani u ljetnim sušnim razdobljima ima oko 30 l/s vode i nešto više u kišnijim dijelovima godine. Temeljem dobivenih rezultata istraživanja predložili su izvođenje još jednog zdenca dubine 70 m. Zdenac EB-2 je izveden do dubine 70 m početkom 1988. godine. Osvajanje zdenca i probno crpljenje je bilo predviđeno izvesti tijekom ljetnog sušnog razdoblja 1989. godine, međutim to crpljenje do sada nije izvedeno.

Izvor Grdak (Slika 3.2.6) nalazi se oko 1 km uzvodno od kaptiranog izvora Rakonek i dio je zone istjecanja istog sliva prostiranja prema centralnom dijelu Istarskog poluotoka. Maksimalno otjecanje s izvora Grdak prema rijeci Raši je oko 1,8 m³/s, a tijekom ljetnih sušnih razdoblja preljevi iz izvorskog "oka" u potpunosti prestaju, međutim voda se zadržava u izvoru.



Slika 3.2.6. Izvor Grdak

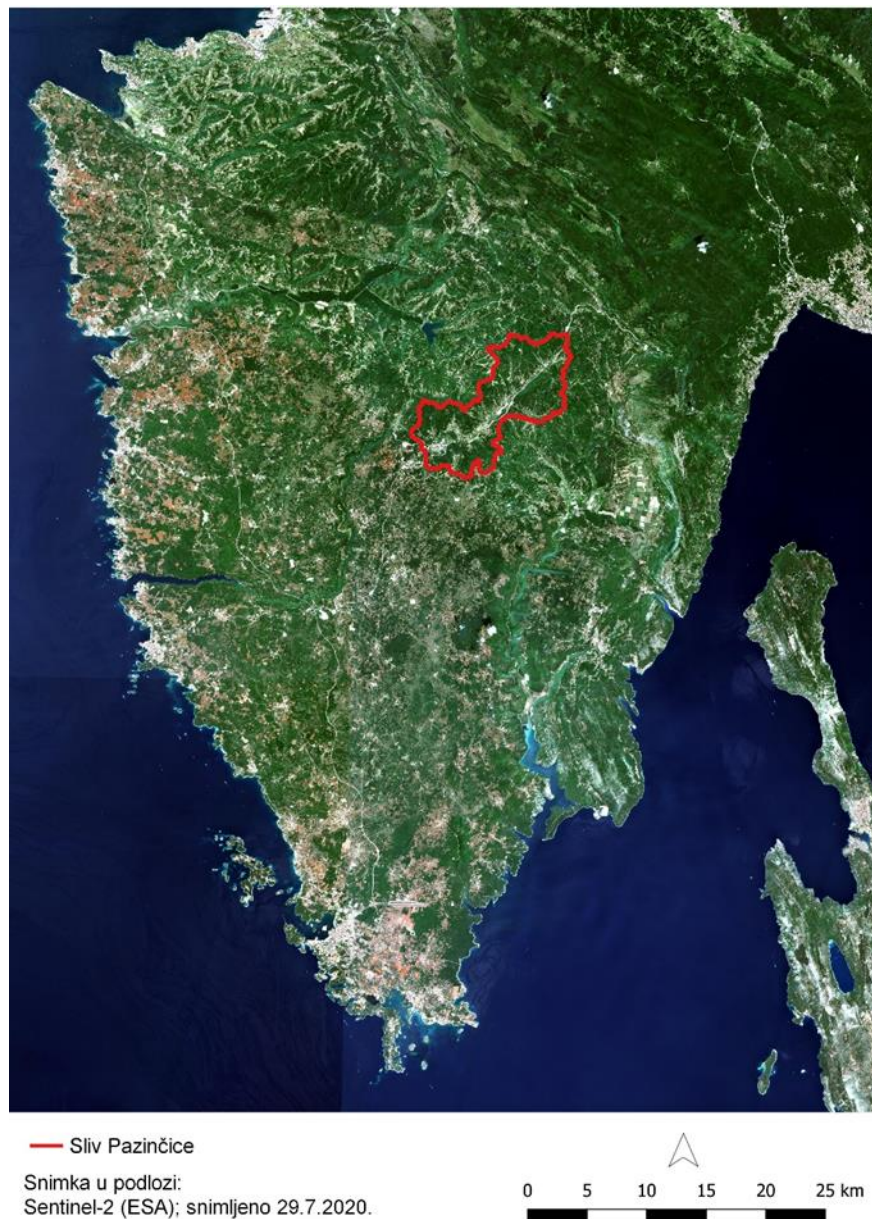
Kao i na ostalim izvorima u dolini rijeke Raše, na izvoru Grdak su tijekom osamdesetih provedena istraživanja s ciljem zahvata vode za potrebe javne vodoopskrbe (Haček i sur., 1986). Temeljem rezultata istraživanja i izvedenih nekoliko istražnih bušotina određena je lokacija istražno-eksploatacijskog zdenca EG-1 dubine 30 m. Zdenac je izveden do dubine od 23,35 m zbog problema tijekom izvođenja. S obzirom da je osvajanje zdenca komprimiranim zrakom dalo vrlo male količine (2-4 l/s) izvedeno je osvajanje komprimiranim zrakom tijekom visokih voda. Niti tada količine istiskivane vode nisu bile zadovoljavajuće.

Nakon ispitivanja komprimiranim zrakom u zdenac EG-1 je utisnut Na-fluorescein, koji se nakon 55 sati pojavio na izvoru Grdak i 68 sati na izvoru Rakonek, čime je potvrđena podzemna veza dotoka ta dva izvora, ali brzine ne ukazuju na protoke kroz glavne kanale, koji dovode vodu na izvore. Opisanim istraživanjima je utvrđena povezanost dva velika krška izvora Rakonek i Grdak, a istražni zdenac EG-1 nije dao očekivane rezultate.

3.3. Hidrografske značajke toka i sliva Pazinčice

3.3.1. Reljef i rasprostiranje sliva i toka

Sliv Pazinčice rasprostire se središnjim dijelom Istarskog poluotoka (Slika 3.3.1), i to, kao što je u poglavlju 3.2.2 navedeno, najvećim dijelom na području flišnih naslaga i njihovom erozijom formiranih aluvijalnih dolinskih naslaga, a samo u najnižvodnijem, ponorskom dijelu Pazinčice, javljaju su i karbonatne strukture. Ukupna površina sliva je 77,37 km² (Slika 3.3.1). Sliv Pazinčice pruža se između kote 185 m n.m., koliko je ulaz u Pazinsku jamu, pa do kote od 503,4 m n.m., koliko visinu ima vrh Stari Draguč lociran oko 1 km jugoistočno od naselja Draguč.



Slika 3.3.1. Položaj sliva Pazinčice

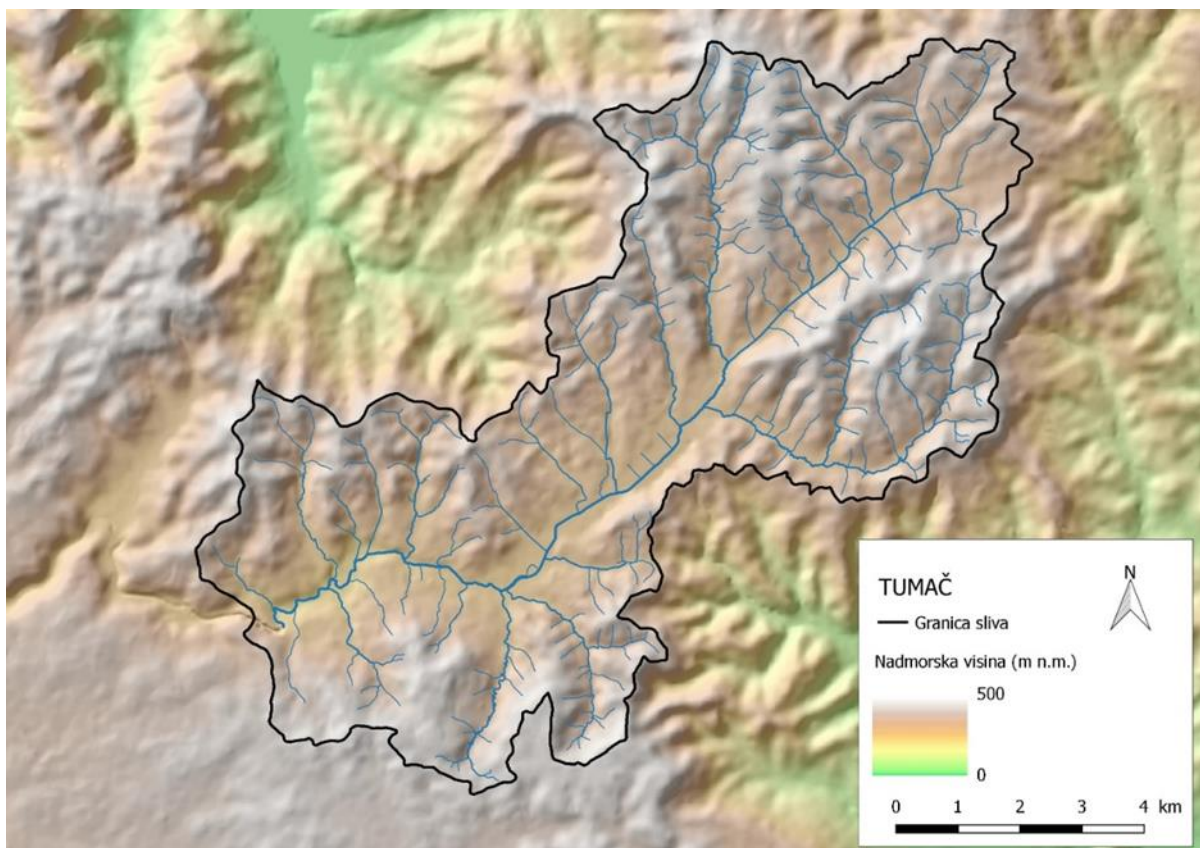
Srednja nadmorska visina Pazinčice je 343,5 m n.m. Sliv Pazinčice pruža se u pravcu sjeveroistok – jugozapad, a na taj osnovni smjer pružanja gotovo okomito se spuštaju strmi bočni pritoci. Naziv Pazinčica vodotok dobiva tek počev od Cerovlja gdje se sastaju njena tri glavna ogranka – središnji Borutski potok s površinom sliva od 15,47 km², desno-obalna pritoka Lipa (7,39 km²) i lijevo-obalni pritok Rakov potok (11,27 km²). Uz njih, najveći lijevo-obalni pritoci Pazinčice su Veli potok (4,25 km²) i Frnežar (3,74 km²) koji u Pazinčicu utječe manje od 1 km uzvodno od profila željezničkog mosta gdje je i hidrološka postaja Dubravica, nakon čega počinje dionica najnižvodnijeg toka Pazinčice i njezine ponorske zone, gdje se ulijeva značajnija desno-obalna pritoka Brestovica (3,30 km²).

Gornji i srednji dio dolinskog toka Pazinčice i njenog početnog toka – Borutskog potoka (15,47 km²) je uglavnom reguliran (Slika 3.3.2 a i b), dok je donji dio toka, nizvodno od spomenutog profila hidrološke postaje Dubravica, a koji završava u ponoru Pazinčice, nereguliran (Slika 3.3.2 c i d). Vezano uz vodotok Pazinčicu prisutni su i nazivi Pazinski potok, pa i Japlenica kako se na nekim kartama naziva dio njenog središnjeg dio toka, ili pak Foiba, kako se je nazivala u vrijeme talijanske uprave Istrom. No, u danom dokumentu korišten je naziv Pazinčica za cijeli njezin tok od spoja Lipe i Borutskog potoka.

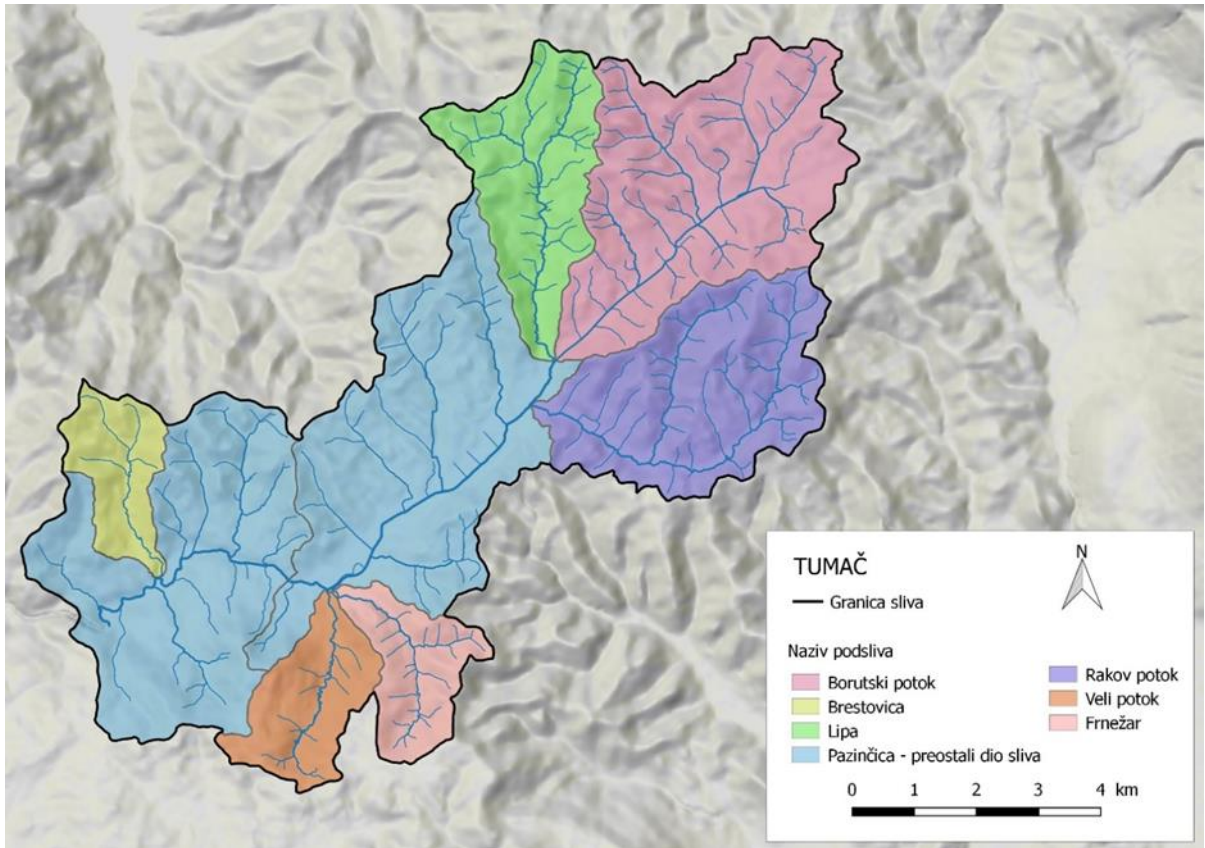


Slika 3.3.2. Karakteristični morfološki izgled toka Pazinčice i Borutskog potoka: a i b) regulirani dolinski dio toka, c i d) prirodan kanjonski dio toka nizvodno od profila Dubravica

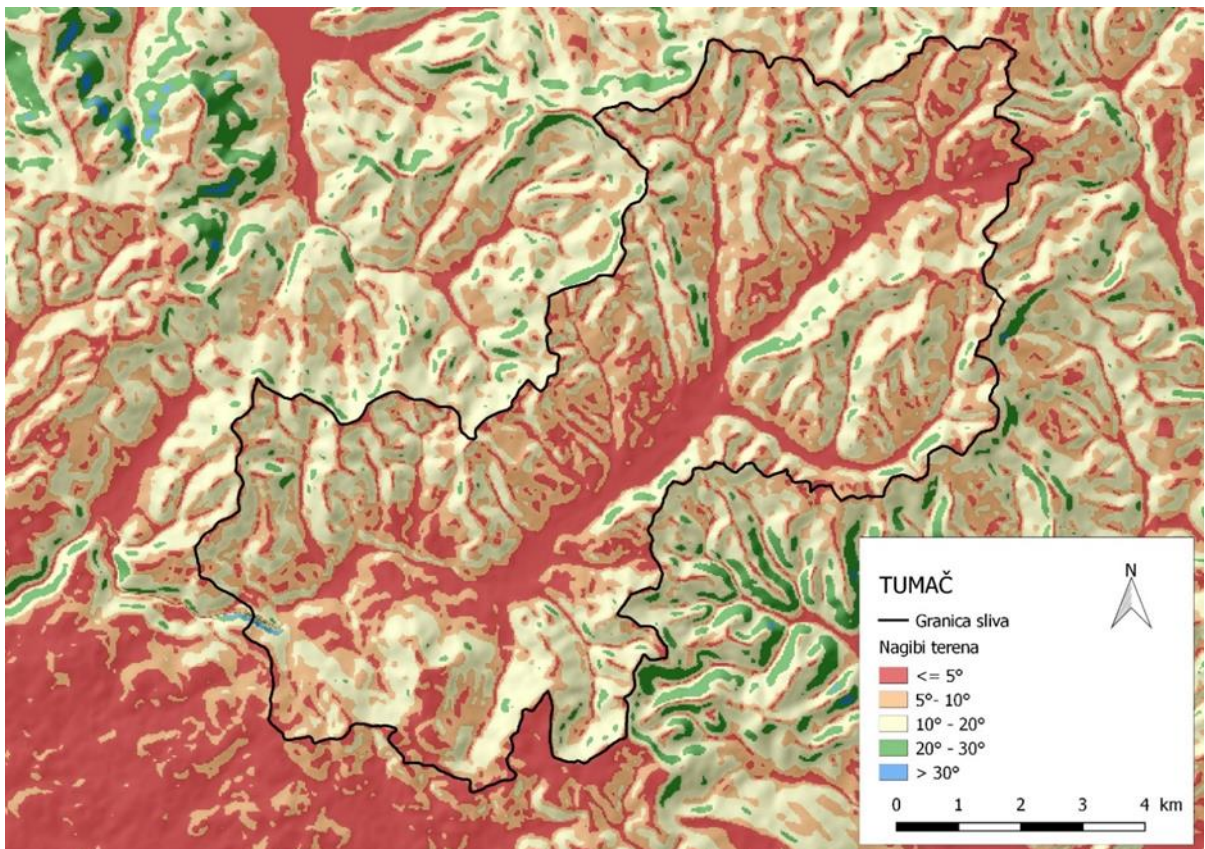
Na Slici 3.3.3 dan je prikaz rasprostiranja slivnog područja Pazinčice i njene hidrografske mreže, a detaljniji prikaz rasprostiranja slivova pojedinih pritoka Pazinčice dan je na Slici 3.3.4. Za oba prikaza i orografske karakteristike terena korišten je europski digitalni model terena EU-DEM, verzija 1.1 (*engl.* European Digital Elevation Model) prostorne rezolucije 25 m. Njegovu izradu koordinirala je Europska agencija za okoliš (EEA, *engl.* European Environmental Agency) u sklopu EU Copernicus programa. Temeljem EU-DEM-a određeni su nagibi terena (Slika 3.3.5), kao i prikaz orijentacije – smjerovi nagiba terena (Slika 3.3.6). Prikazana hidrografska mreža generirana je iz Hrvatske osnovne karte (HOK) u mjerilu 1:5.000 te korigirana temeljem Digitalne ortofotokarte (DOF).



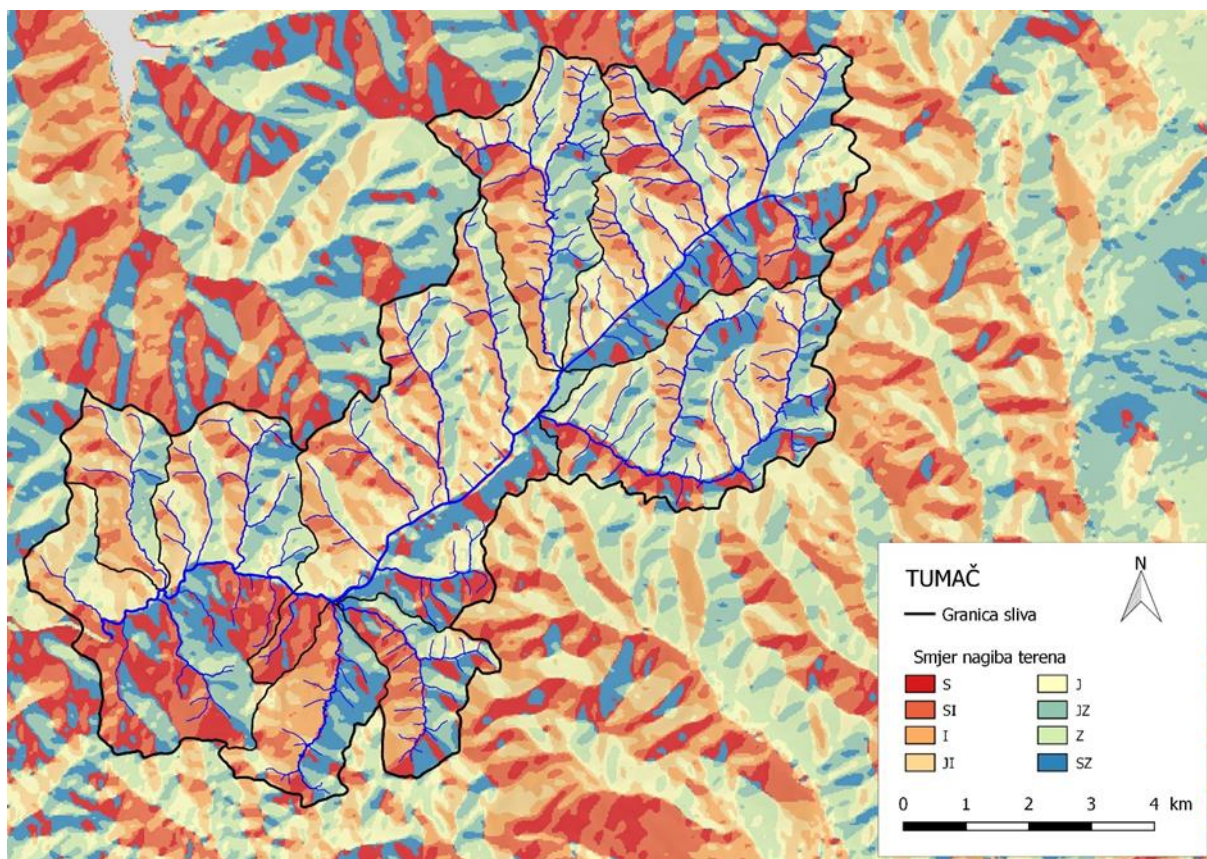
Slika 3.3.3. Prikaz sliva Pazinčice i njene hidrografske mreže



Slika 3.3.4. Prikaz slivova pojedinih glavnih pritoka Pazinčice



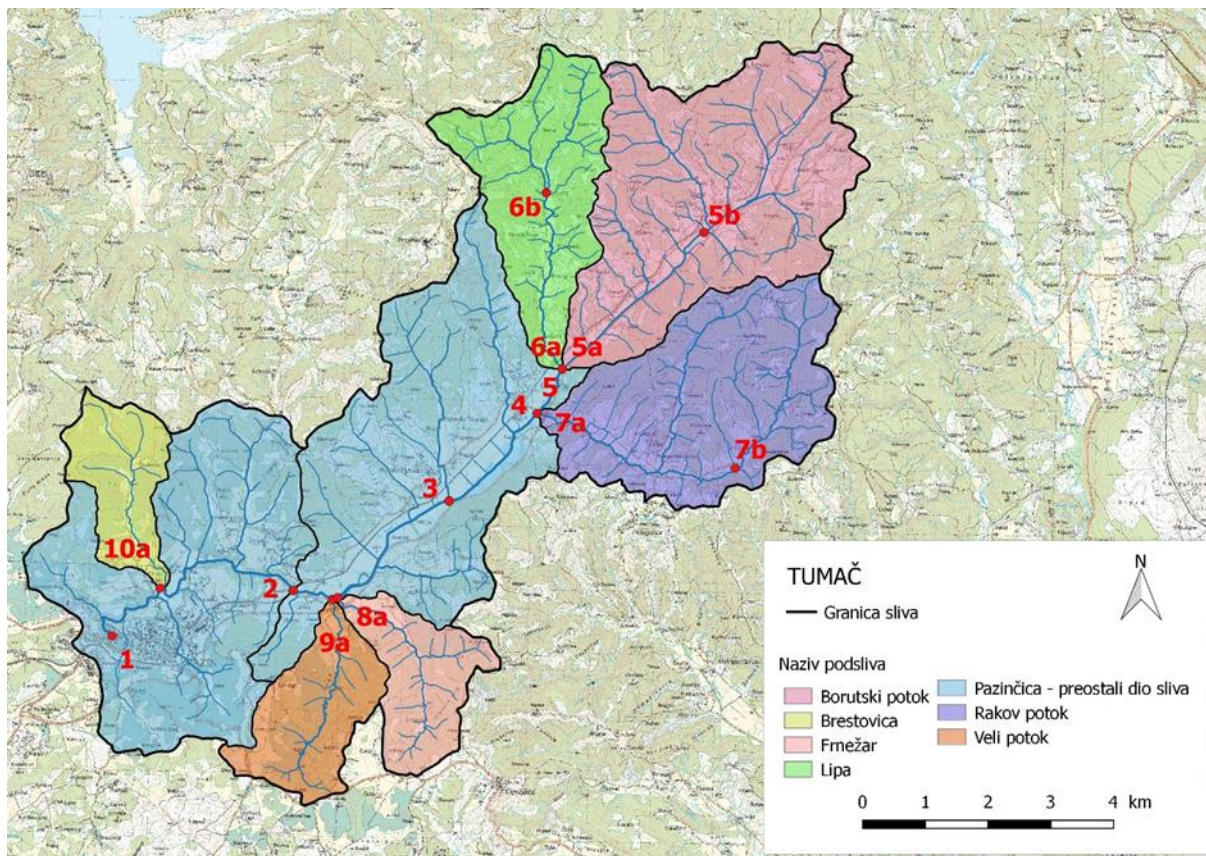
Slika 3.3.5. Karta nagiba terena



Slika 3.3.6. Karta orijentacije/smjera nagiba terena

Prema provedenim analizama nagiba i orijentacije terena, vidljivo je da u dolinskim područjima sliva i toka Pazinčice prevladava relativno blag nagib do 5%, ali da se u gornjim dijelovima sliva nagib višestruko povećava, i kreće se i do 30%, što predisponira pojavama bujičnih vodnih tokova. Orijentacija nagiba terena praktički je simetrično rasprostranjena u odnosu na smjer pružanja Pazinčice i Borutskog potoka u nastavku, i na desnu obalu toka pretežno je usmjerena u smjeru sjeveroistoka, a za lijevu u smjeru sjeverozapada i zapada.

Na slici 3.3.7 dan je prikaz karakterističnih profila na glavnom toku Pazinčice i njenim najvećim pritocima, kao i prikaz odabranih pokazatelja njezina sliva i toka, koji su dati u tablici 3.3.1. Karakteristični profili odabrani su obzirom na njihov položaj u slivu i toku Pazinčice (ponor, utok vodotoka, hidrološka postaja Dubravica) i njenih najvećih pritoka (na ušću i u središnjem dijelu toka).



Slika 3.3.7. Prikaz karakterističnih profila na slivu Pazinčice

Srednji nagib vodnih tokova u slivu i računat je prema izrazu:

$$\sqrt{i} = \frac{\sum L_i}{\sum \left(\frac{L_i}{\sqrt{i_i}} \right)}$$

$$i_i = \frac{\Delta H_i}{L_i}$$

gdje je:

ΔH_i – visinska razlika između najviše i najniže točke na i -tom vodnom toku

L_i – duljina i -tog vodnog toka

Proračunsko vrijeme zakašnjenja (koncentracije) određeno je po izrazu kojeg je dao Passini (1914):

$$t_k = \frac{0,0045 \times \sqrt[3]{F \times L}}{\sqrt{i}} \quad (\text{dani})$$

gdje je:

F – površina sliva (km^2)

L – maksimalna udaljenost dolaska vode (km)

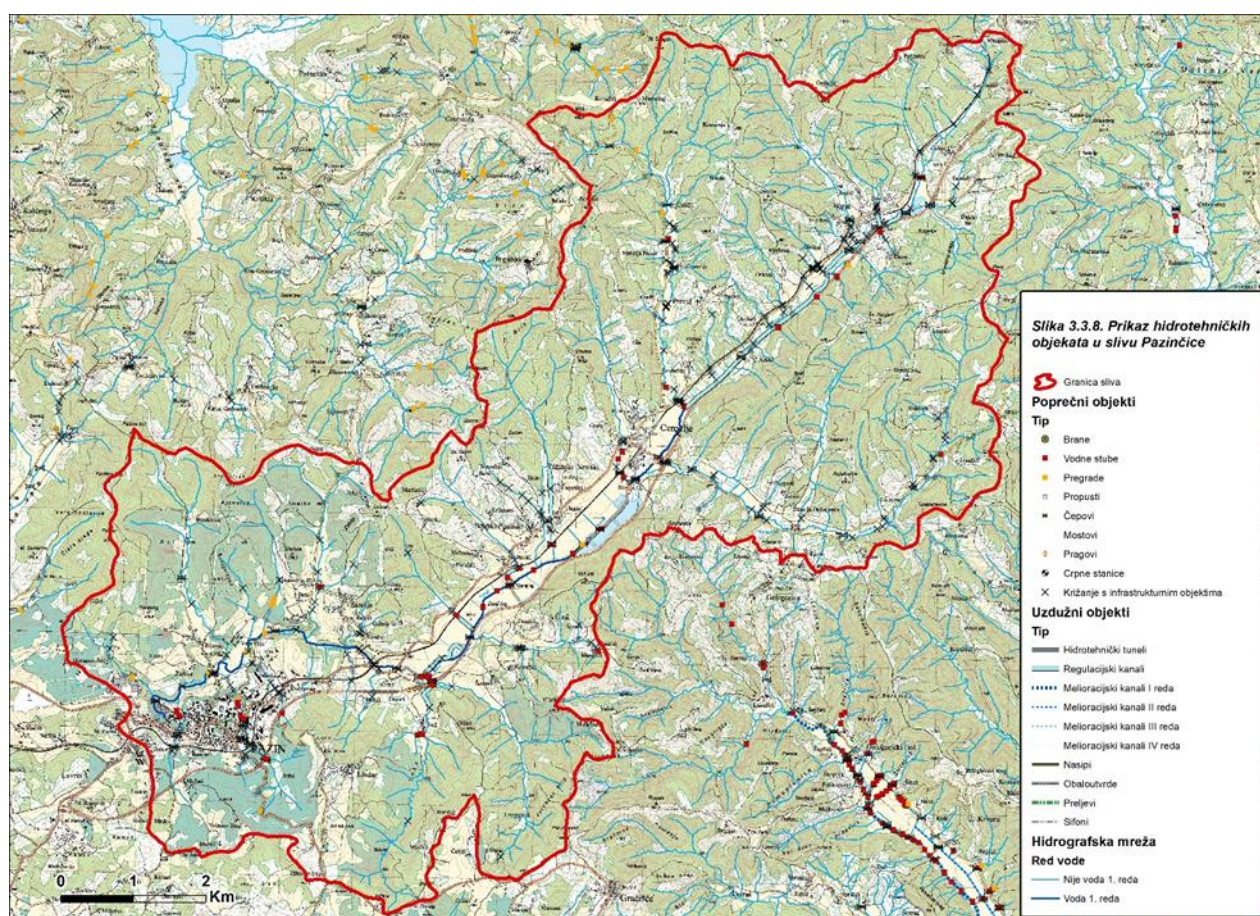
i – srednji pad vodnih tokova u slivu

Tablica 3.3.1. Prikaz značajki odabranih pokazatelja sliva i toka Pazinčice

Oznaka profila	Lokalitet	Površina sliva (km ²)	Duljina glavnog toka (km)	Srednji nagib sliva (%)	Srednji nagib vodnih tokova po Passiniju (%)	Proračunsko vrijeme zakašnjenja/koncentracije (sati)
1	Pazinčica - ponor	77,37	18,09	14,1	2,6	7,51
2	Pazinčica - Dubravica	59,22	13,6	15,1	2,3	6,63
3	Pazinčica – Pazinski Novaki	43,03	10,26	15,2	2,1	5,65
4	Pazinčica – ušće Rakovog potoka	34,79	8,18	15,8	2,2	4,75
5	Pazinčica – spoj Borutskog potoka i Lipe	22,6	7,32	15,4	2,6	3,67
5a	Borutski potok - ušće	15,47	7,32	14,8	2,5	3,31
5b	Borutski potok – sred.	10,69	4,09	14,4	2,9	2,23
6a	Lipa - ušće	7,39	6,24	16,6	3,0	2,24
6b	Lipa – sred.	4,13	2,81	16,3	5,7	1,02
7a	Rakov potok - ušće	11,27	8,05	17,0	1,7	3,71
7b	Rakov potok – sred.	4,58	4,12	16,6	2,2	1,95
8a	Frnežar – ušće	6,94	4,12	11,7	5,1	1,46
9a	Veli potok – ušće	4,25	5,06	15,8	5,5	1,28
10a	Brestovica - ušće	3,3	4,03	19,2	5,7	1,07

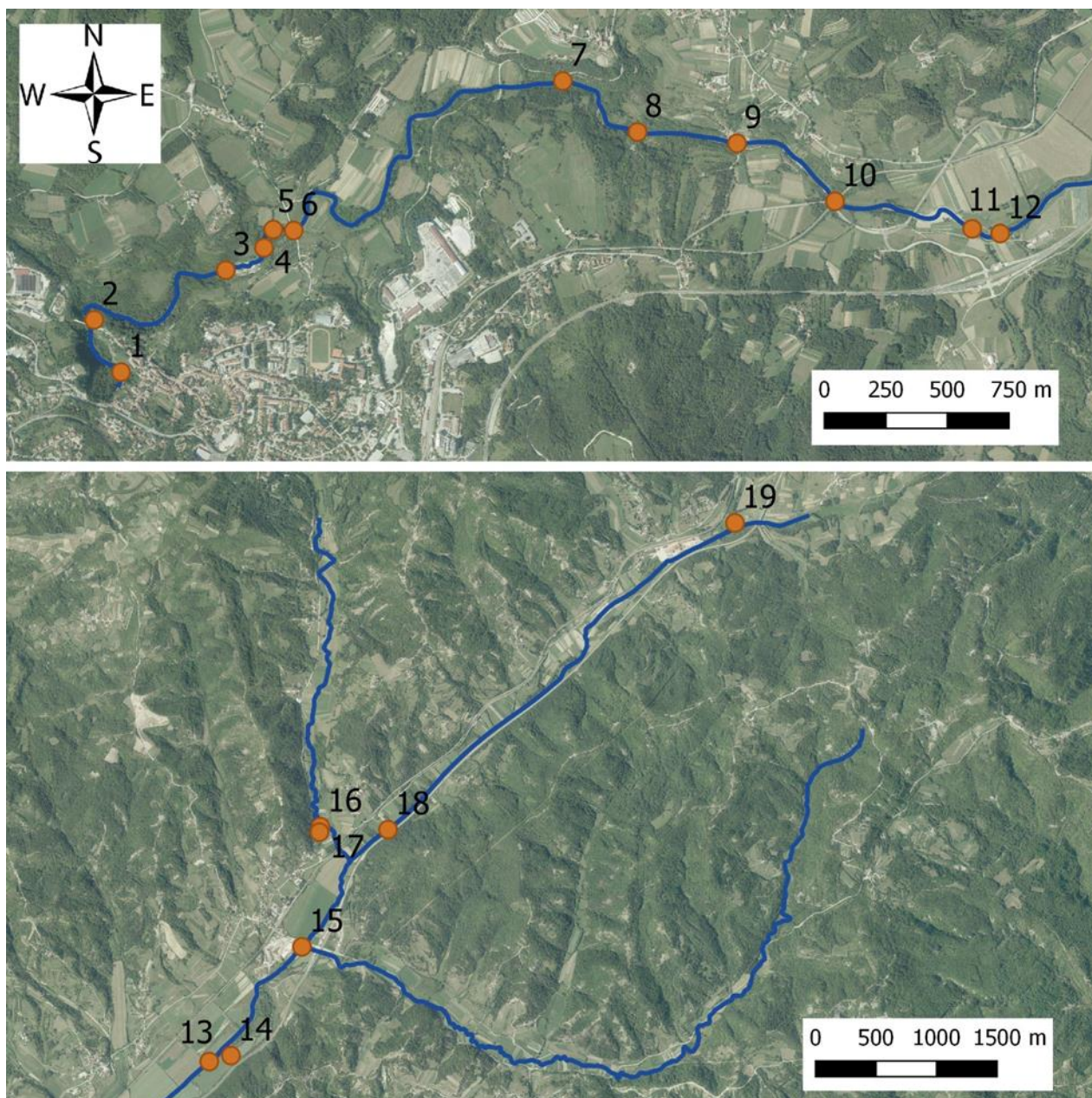
3.3.2. Tok Pazinčice

Pazinčica je vodotok koji se sastoji od dva vrlo različita morfološka dijela – kanjonski i gotovo u potpunosti prirodni tok na potezu između njezina ponora i profila hidrološke postaje Dubravica, te uzvodnije od toga dolinski regulirani tok dolinom Cerovljanskog polja, na koga se nastavlja ogranak isto tako uređenog Borutskog potoka (Slika 3.3.13). Ukupna duljina toka Pazinčice od njenog utoka u Pazinsku jamu do spoja Borutskog potoka i Lipe iznosi 10,94 km, od čega je regulirano najuzvodnijih 6,08 km, odnosno dionica toka Pazinčice između stacionaža 4+860 i 10+940 km. Izvedeno je 1,4 km nasipa na lijevoj obali Pazinčice između stacionaža 8+330 i 9+730 km (Hrvatske vode, 2014). Kako je predmetni dokument orijentiran na analizu klimatoloških, hidroloških, hidrografskih, hidrogeoloških i speleoloških (u kontekstu analiza mogućnosti evakuacije velikih voda) značajki Pazinčice i njenoga ponora te s njime povezanih resursa, u nastavku je dan samo kraći pregled stanja njenoga toka, a detaljnija sagledavanja planirana su u okviru točke 3.7 projektnog zadatka Plana očuvanja i valorizacije područja sliva Pazinčice (Bieco, 2016).



Slika 3.3.8. Prikaz hidrotehničkih objekata u slivu Pazinčice

Prikaz karakterističnih dionica toka dan je u vidu foto-prikaza (Slika 3.3.9).

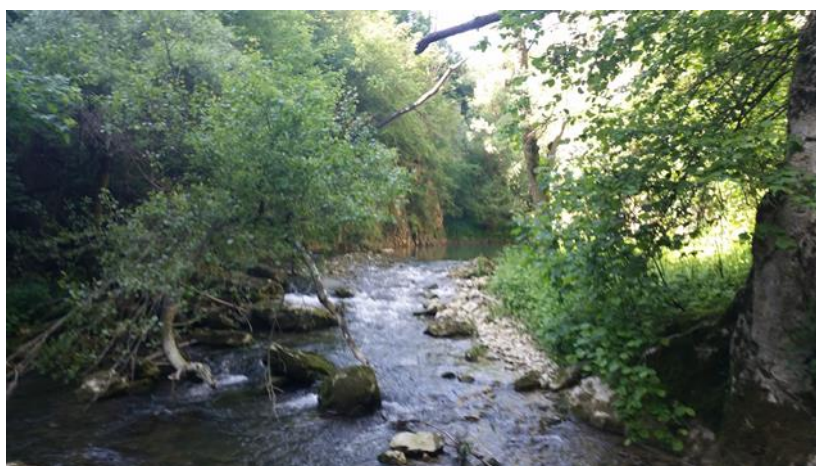


Slika 3.3.9. Orto-foto prikaz toka Pazinčice i lokacija mjesta fotografiranja karakterističnih dionica toka

Najnižvodnija točka u toku Pazinčice (Pozicija 1 na Slici 3.3.10) je završetak kanjonskog, prirodnog toka Pazinčice nakon kojega ona utječe u ponorsku zonu. Uzvodno od toga (u visini pješačkog mosta „Vršić“ nad kanjonom Pazinčice) korito se širi i ima manji pad (Pozicija 2 na Slici 3.3.11). Uzvodno od toga, nalazi se vodopad Pazinski krov (Pozicija 3 na Slici 3.3.12), koji je uz Zarečki krov jedna od dvaju takvih iznimnih prirodnih atrakcija u toku Pazinčice. Radi se o slapu koju presušuje u malovodnom dijelu godine jer se voda gubi duž toka Pazinčice nizvodno od hidrološke postaje Dubravica u nizu manje izraženih ponora („virova“ kako ih nazivaju stanovnici Pazina), od kojih su neki upravo u kamenitom koritu uzvodno od Pazinskog krova. Tuda se pruža dio toka Pazinčice s karakterističnim udubljenjima „krugama“ u kamenitom dnu korita nastalim erozijskim djelovanjem vode i pronosa sedimenta (Pozicija 4 na Slici 3.3.13).



Slika 3.3.10. Pozicija 1 – Najnižvodniji dio toka Pazinčice prije utoka u Pazinsku jamu (Rudan, 2016)



Slika 3.3.11. Pozicija 2 – Tok Pazinčice u njenom kanjonskom dijelu u visini pješačkog mosta Vršić (Rudan, 2016)



Slika 3.3.12. Pozicija 3 – Pazinski krov (Rudan, 2016)



Slika 3.3.13. Pozicija 4 – Kameniti dio toka Pazinčice uzvodno od Pazinskog krova s karakterističnim „krugama“

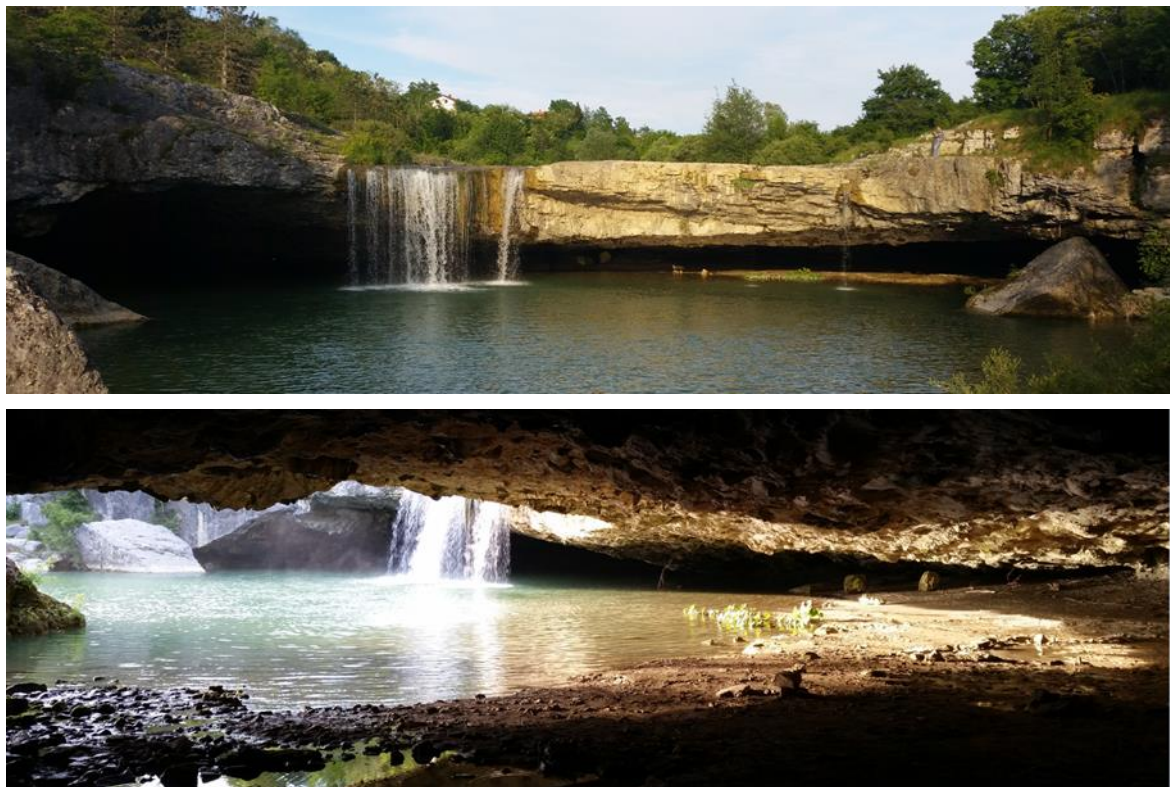
Uzvodno (Pozicija 5 na Slici 3.3.14) nalazi se betonska brana koja je služila za usmjeravanje vode na Tomažinov mlin čija je ruševina/zidovi locirana na lijevoj obali Pazinčice. Još uzvodnije od njega, na Poziciji 6 (Slika 2.2.4) je most Svetog Jožefa u Rijavacu, koji je bio jako oštećen prilikom katastrofalne poplave u listopadu 1993. godine, kojom prilikom je most bio preplavljen. Uzvodno od njega pruža se dolinski dio Loke, a koji završava mostom Dušani, uzvodno od kojeg se ponovno pruža kanjonski dio toka Pazinčice (Pozicija 7 na Slici 3.3.15), s prirodnim tokom korita (Pozicija 8 na Slici 3.3.15). On završava slapom Zarečki krov (Pozicija 9 na Slici 3.3.16), jednim od najvećih prirodnih znamenitosti toka Pazinčice koja ima karakter stalne vodne pojave, makar se za duljih sušnih razdoblja protoci iznimno smanje, pa i prestanu, no u udubljenom dijelu korita preostaju vodne zalihe gdje se sklanja ihtiofauna. Uzvodno od Pozicije 10 – željezničkog mosta na Pazinčici gdje je i hidrološka postaja Dubravica - Pazinčica (Slika 2.2.3), počinje regulirani dio toka Pazinčice, te njenog nastavka – Borutskog potoka.



Slika 3.3.14. Pozicija 5 – Betonska pregrada u koritu Pazinčice koja je usmjeravala vodu na Tomažinov mlin



Slika 3.3.15. Pozicija 7 – Kanjonski dio toka Pazinčice uzvodno od mosta Dušani (lijevo) i Pozicija 8 – Tok Pazinčice nizvodno od Zarečkog krova (Rudan, 2016) (desno)



Slika 3.3.16. Pozicija 9 – Zarečki krov – Pogled s nizvodne strane (gore) i iz polupećine ispod slapa (dolje) (Rudan, 2016)

Uzvodno od cestovnog mosta na cesti Pazin – Cerovlje počinje se širiti dolinsko područje Cerovljansko polja, s izgrađenim kanalskim sustavom odvodnje poljoprivrednih površina. Na Slici 3.3.17 (Pozicije 11 i 12) prikazano je regulirano korito Pazinčice izvedeno od kamenometa. Uzvodno od njega, između korita Pazinčice (Pozicija 13 na Slici 3.3.18) i trase ceste Istarskog ipsilona, nalaze se ribnjaci „Bare Cerovlje“ (Pozicija 14 na Slici 3.3.19) formirani od nekadašnjih pozajmišta gline za potrebe nekadašnje obližnje ciglane Cerovlje, a namijenjeni za uzgoj i ribolov slatkovodnih riba sportsko-ribolovnog društva „Pazinčica“. Uzvodno od tih ribnjaka Pazinčica prima

svoj najveći lijevoobalni pritok Rakov potok, čije je ušće prikazano na Slici 3.3.20 (Pozicija 15). Uzvodno od toga spoja, Pazinčica dobiva najznačajniji lijevoobalni pritok Lipu (Pozicija 16 na Slici 3.3.21), od čijeg spoja s Borutskim potokom i nosi ime Pazinčica. Na Slici 3.3.21 (Pozicija 17) dan je prikaz jezercica, mini akumulacije uz korito Lipe neposredno prije njenog ušća, koje se puni vodama iz Lipe, a formirana je radi osiguranja vode za potrebe napajanja parnih lokomotiva željeznice. Regulirano Korito Borutskog potoka uzvodno od spoja s Lipom prikazano je na Slici 3.3.22 (Lokacija 18). U Borutu uz korito Borutskog potoka nalazi se bara - nekadašnje pozajmište za glinu (Pozicija 19 na Slici 3.3.23).



Slika 3.3.17. Pozicija 11 (lijevo) i 12 (desno) - uređeno korito Pazinčice uzvodno od Dubravice (Rudan, 2016)



Slika 3.3.18. Pozicija 13 – Korito Pazinčice na dionici toka neposredno uz „Bare Cerovlje“



Slika 3.3.19. Pozicija 14 – „Bare Cerovlje“ (Rudan, 2016)



Slika 3.3.20. Pozicija 15 – Utok Rakovog potoka u Pazinčicu



Slika 3.3.21. Pozicija 16 – Potok Lipa (lijevo), Pozicija 17 – Mini akumulacija uz desnu obalu Lipe prije njenoga utoka u Pazinčicu (desno)



Slika 3.3.22. Pozicija 18 - Borutski potok



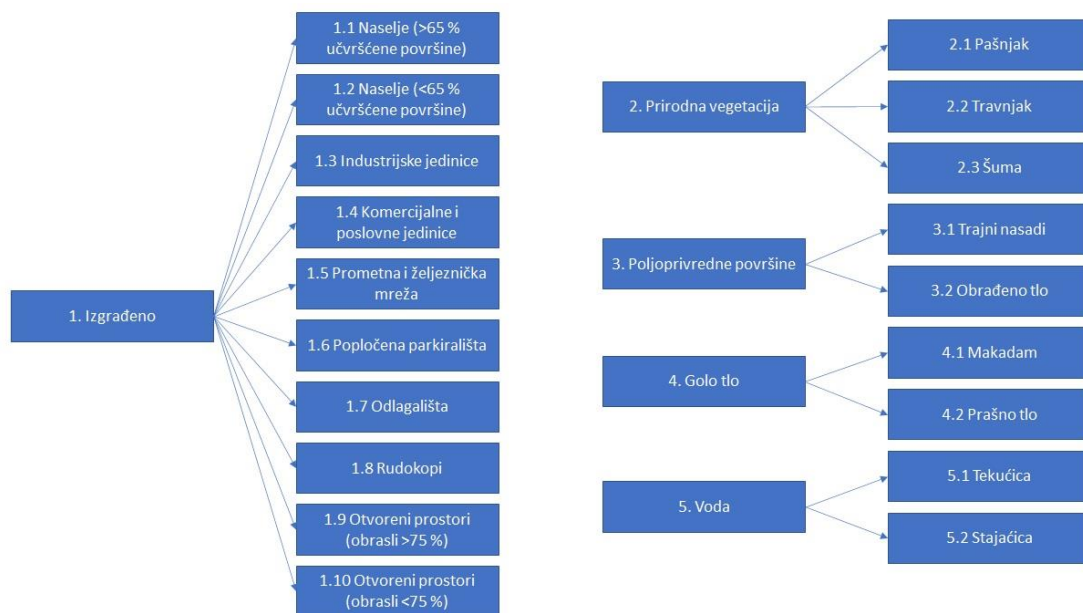
Slika 3.3.23. Pozicija 19 – Bara u Borutu

Za napomenuti je da je detaljniji opis toka Pazinčice, posebno njene najnižvodnije dionice kao i same Pazinske jame, povijesti i događaja, kako uobičajenih priča vezanih uz vodotok, tako i iznimnih kao što su izraženije poplave, dano na blogu <https://blog.dnevnik.hr/mojpotok/>, kao i na facebook stranici <https://www.facebook.com/GradjanskalnicijativaNasPotok>. Vrijedi istaknuti i dvojezičnu publikaciju „La foiba di Pisino / Pazinska jama“ Nerine Feressi (2012), čije je prvo izdanje samo na talijanskom jeziku datirano za 1972.g. u Trstu. Vezano uz napuštene mlinove na Pazinčici, od kojih se jedini, u vidu ruševine, održao Tomažinov mlin nizvodno od Mosta Sv. Jožefa, vrijedne informacije sadrži publikacija Mlinovi na Pazinčici (Visintin, 2010), kao i također dvojezična knjiga o mlinovima u hrvatskom i slovenskom dijelu Istre Roberta Stareca (2002).

Kao što se može vidjeti iz danih prikaza, tok Pazinčice i njenih pritoka odlikuje se iznimnim prirodnim obilježjima praktički bez izraženijih regulacijskih zahvata (osim na dijelu toka kod mostova, te pregrade na koritu kod Tomažovog mlina) karakterističnim za dio toka nizvodno od profila hidrološke postaje Dubravica, te potpuno reguliranim dionicama njenog toka kao i odvodnih kanala uzvodno od Dubravice – do Boruta. Taj regulirani dio obilježavaju i zajezerene površine napuštenih pozajmišta gline oko Cerovlja i u manjoj mjeri Boruta, koje su ne samo ribnjačke površine, nego i vrijedni ambijentalni prostor.

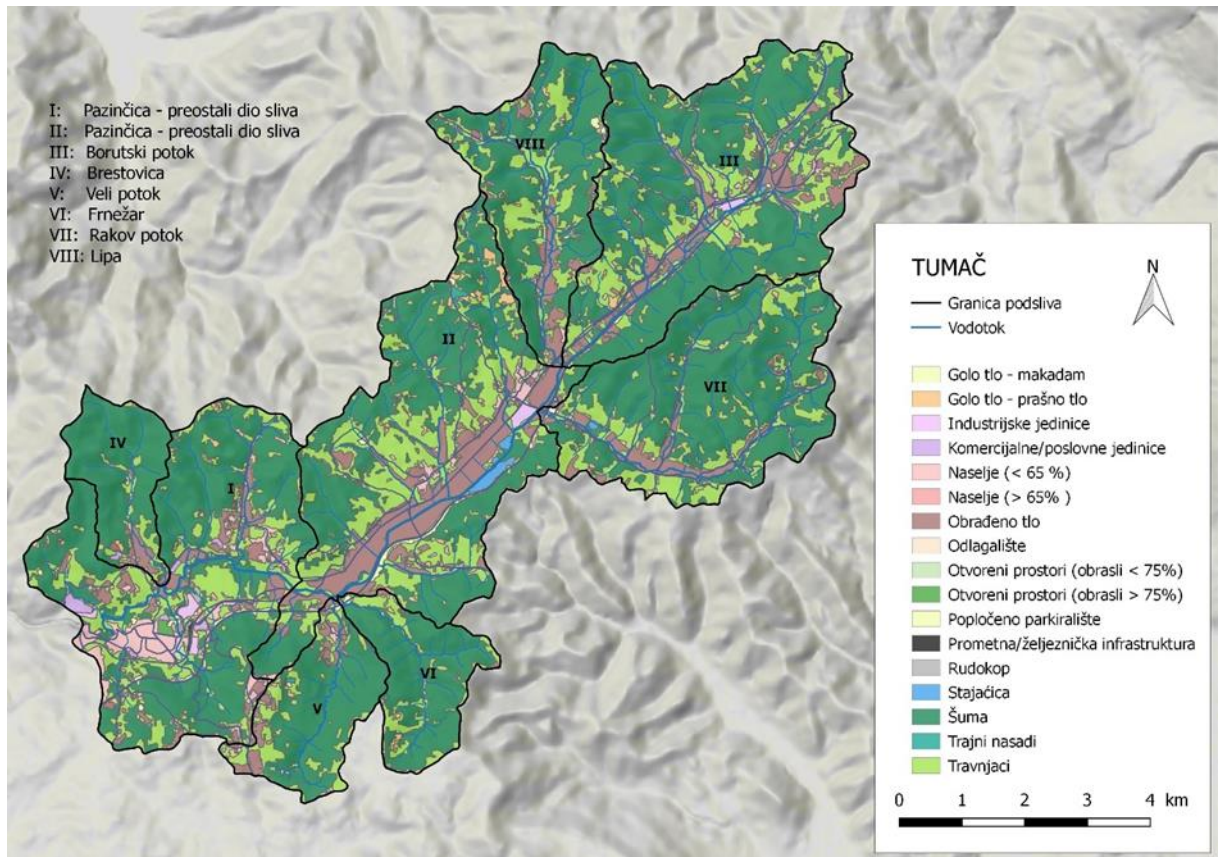
3.3.3. Pokrov

Pokrov sliva, kako vegetacijski, a pogotovo izgrađeni urbani sadržaji na slivu, je jedan od bitnih elemenata otjecanja. Za potrebe procjene površinskog otjecanja kakvo je primijenjeno u danom dokumentu (SCS-CN metoda zasnovana na daljinskim snimkama (RS) i GIS okruženju, pri čemu je korišten HEC-HMS (Feldman, 2000)), provedena je identifikacija i klasifikacija toga pokrova na pet klasa prve razine (izgrađeno, prirodna vegetacija, poljoprivredne površine, golo tlo, voda) odnosno 19 klasa druge razine (Slika 3.3.24). Odabir klasa temelji se na corine land cover nomenklaturi (Kušan, 2010; Kosztra i sur., 2017; Bossard i sur., 2000) i usklađen je s tipovima pokrova definiranim SCS CN metodom u svrhu određivanja CN vrijednosti (USDA, 1986).



Slika 3.3.24. Klasifikacija pokrova i namjene zemljišta na slivu (prilagođeno prema Kušan, 2010; Kosztra i sur., 2017; Bossard i sur., 2000)

Na temelju tako provedene klasifikacije i identifikacije, definirana je i karta pokrova u slivu Pazinčice, raščlanjena prema odabranim karakterističnim dionicama toka Pazinčice i njenih pritoka (Slika 3.3.25).



Slika 3.3.25. Karta pokrova i namjene zemljišta na slivu

Tablica 3.3.2. Udio klasa zemljišnog pokrova u slivu Pazinčice i njenih pritoka (%)

Klasa	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	UKUPNO
Naselje (< 65 %)	7,58	1,97	0,84	0,58	1,31	0,48	0,04	0,42	2,22
Naselje (> 65 %)	0,06	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Industrijske jedinice	0,89	0,48	0,30	-	-	-	-	-	0,34
Komercijalne/ poslovne jedinice	1,16	-	-	0,47	0,09	-	-	-	0,25
Prometna infrastruktura	1,78	1,33	1,44	0,1	0,53	0,14	1,26	0,98	1,24
Popločeno parkiralište	0,05	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Odlagalište	0,1	-	-	-	-	-	-	-	0,02
Rudokop	0,17	-	-	-	-	-	-	-	0,03
Otvoreni prostor (obrasli > 75 %)	0,31	-	-	-	-	-	-	-	0,06
Otvoreni prostor (obrasli < 75 %)	0,16	-	-	-	-	-	-	-	0,03
Travnjaci	25,05	30,39	28,71	9,99	20,69	18,63	24,98	28,05	26,05
Šuma	52,13	44,29	56,87	80,56	64,83	77,46	65,68	59,18	57,13
Trajni nasadi	0,09	0,32	-	-	0,39	-	-	-	0,11
Obrađeno tlo	6,93	16,06	9,08	6,45	9,34	1,02	6,29	8,45	9,26
Golo tlo – makadam	1,38	1,21	0,43	0,24	0,84	0,55	0,38	0,69	0,82
Golo tlo – prašno tlo	2,13	2,89	2,16	1,61	1,97	1,73	1,22	2,21	2,13
Stajaćice	0,03	1,07	0,15	-	-	-	0,16	0,02	0,30

I: Pazinčica; II: Pazinčica; III: Borutski potok; IV: Brestovica; V: Veli potok, VI: Frnežar; VII: Rakov potok; VIII: Lipa

Iz danog je prikaza vidljivo da najveći dio sliva Pazinčice zauzima šumska vegetacija (57,1 %), travnjaci (26,1 %) te obrađeno tlo (9,3 %), dok je udio urbaniziranih sadržaja značajnije manji. Ti se omjeri donekle mijenjaju po slivovima pojedinih pritoka, ali nema značajnijih odstupanja osim donekle u slivnoj jedinici I koja obuhvaća neposredni sliv Pazinčice nizvodno od hidrološke postaje Dubravice, na kome nešto veći udio imaju urbane površine samoga grada Pazina, kao i u slivnoj

jedinici II koja obuhvaća sliv Pazinčice između spoja Borutskog potoka i Lipe pa do Dubravnice (bez pritoka) na kome je pak pojačan udio obradivih površina u odnosu na šumsko zemljište.

Spomenute informacije o pokrovu zemljišta iskorištene su za generiranje karakterističnih CN krivulja, odnosno primjenu SCS metode (USDA, 1986; USDA, 1972) na način da je pojedinim klasa zemljišnog pokrova pridružena vrijednost karakteristične CN krivulje (Tablica 3.3.3), u ovisnosti o infiltracijskim karakteristikama tla jednoznačno klasificiranim u četiri osnovne hidrološke grupe tla (A, B, C, D) (Musgrawe, 1955). Dobro propusna pjeskovita tla čine grupu A dok su slabo propusna glinovita tla klasificirana kao hidrološka grupa D.

Tablica 3.3.3. Karakteristični brojevi CN krivulja za prosječnu prethodnu zasićenost tla vodom za odabrane klasifikacije pokrova tla (prema USDA, 1986)

Klasa	P	P	CN			
	(m ²)	(%)	A	B	C	D
Naselje (< 65 %)	1721182	2,22	61	75	83	87
Naselje (> 65 %)	8387	0,01	77	85	90	92
Industrijske jedinice	260960	0,34	81	82	91	93
Komercijalne/poslovne jedinice	191655	0,25	89	92	94	95
Prometna infrastruktura	960198	1,24	98	98	98	98
Popločeno parkiralište	7362	0,01	98	98	98	98
Odlagalište	14253	0,02	72	82	87	89
Rudokop	25472	0,03	82	87	89	89
Otvoreni prostor (obrasli > 75 %)	45936	0,06	39	61	74	80
Otvoreni prostor (obrasli < 75 %)	23857	0,03	49	69	79	84
Travnjaci	20151456	26,05	30	58	71	78
Šuma	44198396	57,13	25	55	70	77
Trajni nasadi	85934	0,11	45	66	77	83
Obrađeno tlo	7160992	9,26	62	71	78	81
Golo tlo – makadam	634240	0,82	76	85	89	91
Golo tlo – prašno tlo	1646163	2,13	72	82	87	89
Stajačice	229723	0,30	-	-	-	-

Veći dio sliva je lociran na slabo propusnim naslagama fliša i crvenice (RGN, 1997), dok najnižvodniju zonu na čijem je dijelu i ponor Pazinčice, karakteriziraju pijesci, šljunci i gline promjenjive propusnosti. To je, izuzev samog kanjanskog dijela ponorske zone, ujedno i područje

najveće urbanizacije, a u budućnosti se očekuje i izvjesno povećanje stupnja urbanizacije. Shodno tome, analizirano područje je u cijelosti klasificirano u klasu hidrološke grupe tla B odnosno tla slabije propusnosti.

Kako se brojevi karakterističnih CN krivulja u prethodno danoj tablici odnose na prosječnu prethodnu zasićenost tla vodom (stanje ARC II), a pojave intenzivnih kratkotrajnih jakih oborina koje uvjetuju pojave velikih voda javljaju se u različitim hidrološkim prilikama, CN vrijednosti je nužno korigirati s obzirom na prethodnu zasićenost tla vodom. U Tablici 3.3.4 su navedene vrijednosti odgovarajućih CN krivulja i za dva krajnja slučaja prethodnog stanja zasićenosti tla vodom – suhog (ARC I) i potpuno zasićenog (ARC II), kada je tijekom prethodnih pet dana također padala oborina pa je tlo praktički potpuno saturirano vodom (Jovanović, 1974).

Tablica 3.3.4. Korekcija vrijednosti CN krivulje za različite prethodne uvjete zasićenosti tla vodom (Jovanović, 1974)

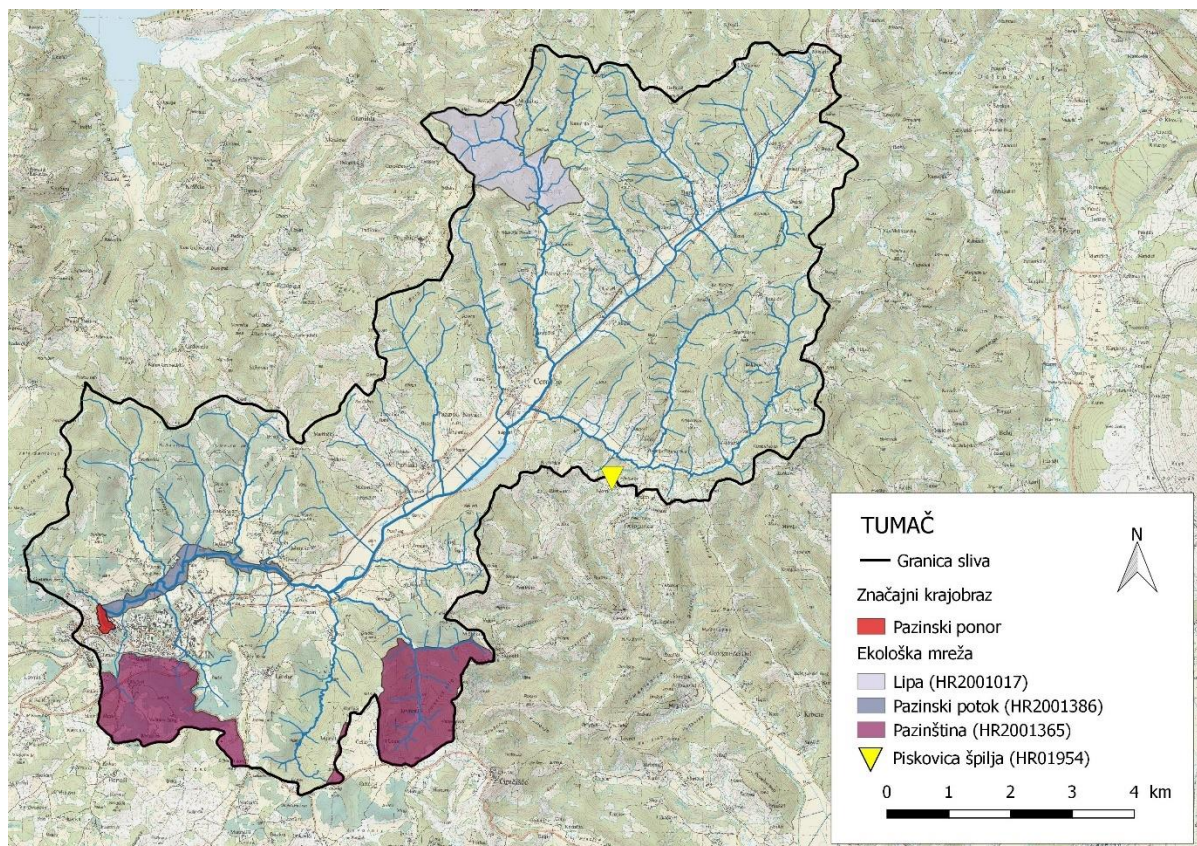
Hidrološki uvjet ARC II CN – za stanje prethodne prosječne vlažnosti tla	Hidrološki uvjet ARC III Odgovarajući CN za stanje prethodne potpune vlažnosti tla	Hidrološki uvjet ARC I Odgovarajući CN za stanje prethodnog sušnog stanja tla
0	0	0
10	26	4
20	39	9
30	50	15
40	60	23
50	70	31
60	79	40
70	87	51
80	94	63
90	98	78
100	100	100

Karakteristična CN krivulja za prosječno prethodno stanje zasićenosti tla s vodom za cjelokupni sliv Pazinčice je CN 59,1, a za reporni profil hidrološke postaje Dubravica je gotovo identičan i iznosi CN 58,8. Tome odgovaraju brojevi CN 38,8 za prethodno sušno stanje te CN 77,2 za prethodno potpuno saturirano tlo s vodom za cjelokupni sliv Pazinčice, odnosno CN 38,5 za prethodno sušno stanje te CN 77,0 za prethodno potpuno saturirano tlo s vodom za profil Dubravica na Pazinčici.

3.3.4. Zaštićena područja

Kao što je u Projektnom zadatku za izradu plana očuvanja i valorizacije područja Pazinčice (Službene novine Grada Pazina i Općina Cerovlje,... 30/2016 i 36/2016) uvedno istaknuto, to je područje iznimno je vrijedan i osjetljiv resurs kako u pogledu njegovih prirodnih obilježja, tako i u pogledu njegove moguće veće valorizacije za različite djelatnosti. Posebno se to odnosi za donji dio njezina toka koji završava Pazinskom jamom koja je i zaštićena kao značajan krajobraz, dok pojas od Jame do željezničkog mosta u Zarečju spada u zaštićeno područje Nature 2000, pri čemu su posebno štćene vrste riječni rak (*Astacus astacus*) te puža uskouščani zvrčić (*Vertigo angustior*). No, prirodne vrijednosti i ambijentalno vrijedni prostori nisu ograničeni samo na spomenutu donju dionicu toka, već se radi o puno većem utjecajnom području sliva Pazinčice, kao i s njime hidrografski povezanih prostora, koje se zbog podzemnih hidrografskih veza ponora Pazinčice, pruža na velik dio Istarskog poluotoka.

Uz to, postoje i po drugim kriterijima zaštite prirode (Ekološka mreža) prirodne vrijednosti na području sliva Pazinčice (Slika 3.3.26), koje je nužno respektirati prilikom razmatranja načina najprimjerenije zaštite i valorizacije prirodnih vrijednosti u slivu Pazinčice. Radi se o područjima ekološke mreže Pazinski potok (HR2001386), Pazinština (HR2001322). Po tim kriterijima, pod zaštitom je 7,42 km² površina u slivu Pazinčice. Vrijedi istaknuti i još jedno zaštićeno podzemno područje – špilju Piskavicu u Gologorici koja je po svojoj istraženj duljini od 1.036 m (Jekić i Zlokolica, 1988; Zlokolica Mandić i Jekić, 2017) naša najveća špilja u flišu u Hrvatskoj (Slika 3.3.27).

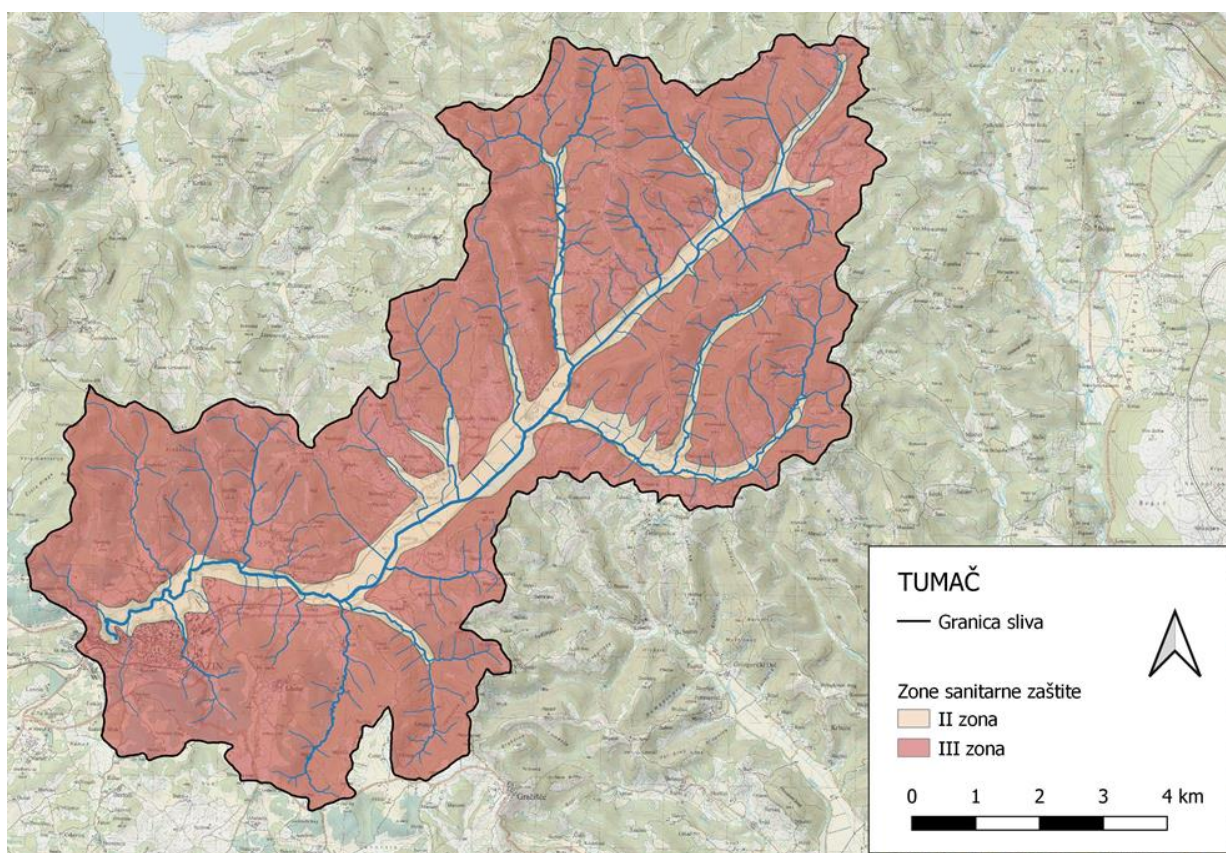


Slika 3.3.26. Zaštićene prirodne vrijednosti u slivu Pazinčice



Slika 3.3.27. Špilja Piskavica kod Gologorice: lijevo – prikaz položaja ulaza i rasprostriranja, desno – karakteristični pogled na presjek špilje /foto H.Cvitanović/ (Jekić i Zlokolica, 1988; Zlokolica Mandić i Jekić, 2017)

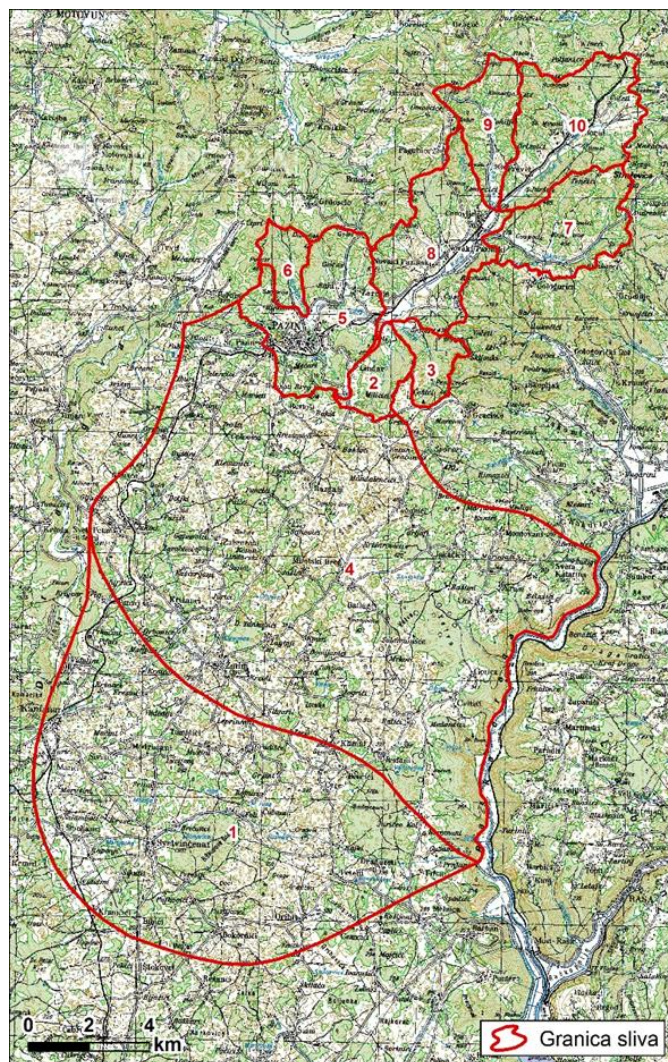
Uz to, područje sliva Pazinčice nalazi se i unutar zona sanitarne zaštite izvorišta pitke vode (SL.N.IŽ 12/2005), pa je na Slici 3.3.28 dan prikaz pripadnosti pojedinim zonama zaštite. Vidljivo je da je cjelokupni sliv pod režimom zaštite, pri čemu na II zonu otpada 9,99 km² površine, a na III zonu 67,38 km².



Slika 3.3.28. Zone sanitarne zaštite izvorišta pitke vode na području sliva Pazinčice (prema SL.N.IŽ 12/2005)

3.4. Analiza globalne vodne bilance sliva Pazinčice i s njom povezanih izvora u dolini Raše

Poznato je da se vodama Pazinčice prihranjuju izvori na desnoj obali rijeke Raše. No, s obzirom na postojanje međusliva tih izvora iz njihova neposrednog okruženja s koga se oni također prihranjuju, kao i okolnost da su utvrđene podzemne veze ponora Pazinčice i s južnije lociranim izvorima, bilančne veze nisu jednoznačne te je nužno provesti polaznu globalnu vodnu bilancu. Za procjenu dotoka odabranih slivova na području samog sliva Pazinčice podijeljenog u glavne podslivove temeljem njihovih topografskih granica, kao i slivova vezanih uz izvorišta na desnoj obali rijeke Raše (Slika 3.4.1), korišten je jedan uprošteni modelski pristup koji je primjeren raspoloživim klimatološkim i hidrološkim podlogama. Pri tome je, na temelju globalne hidrogeološke procjene, sliv izvorišta desne obale rijeke Raše podijeljen na dio koji neposrednije gravitira samom izvoru Rakonek (sliv 1) od dijela sliva koji neposrednije gravitira uzvodnije lociranim izvorima (sliv 4). Radilo se o potrebnim razgraničenjima za potrebe globalnih bilanciranja u sklopu procjena utjecaja klimatskih promjena na promjene vodne bilance izvora Rakonek (točka 4.3.2).



Slika 3.4.1. Pregledna situacija odabranih slivova na području Pazinčice i desne obale rijeke Raše

Model se temelji na usporedbi mjerenih podataka o bilanci protoka na hidrološki kontroliranom profilu Dubravica na Pazinčici, kao i podataka o bilanci efektivnih oborina koja se infiltrira u sliv, pri čemu se koriste podaci o oborinama i temperaturama u slivu. Pri ocjeni bilance tih efektivnih oborina na području hrvatskog krša najčešće se koriste empirijski modeli Turca (1954) i Langbeina (1962), a koji su modificirani i razvijeni za primjenu u GIS okruženju (Horvat i Rubinić, 2006). Radi se o modelima pomoću kojih je, na temelju prostorne procjene količine palih godišnjih oborina i prosječnih godišnjih temperatura zraka na analiziranom slivu, uz hidrogeološkim metodama određenu površinu sliva, moguće odrediti prostornu raspodjelu efektivne godišnje oborine, odnosno dio palih oborina koje su infiltrirane u sliv krškog vodonosnika. Odabir mjerodavnog modela provodi se na temelju usporedbe mjerenih i procijenjenih vrijednosti srednjih godišnjih dotoka, a u nedostatku mjerenih podataka o protocima izvora i na temelju ekspertne procjena, kao i regionalnih formula koji daju procjene srednjih godišnjih otjecajnih koeficijenata.

Procjena vodne bilance na godišnjoj razini je osnova korištenog bilančnog modela. Elementi vodne bilance su definirani korištenjem dvaju modelskih pristupa: prvog zasnovanog na metodologiji predloženoj od strane Turca (1954), te drugog po Langbein-ovoj metodologiji (1962). Turc-ova formula (1954) sadrži deficit otjecanja (D) kao funkciju palih oborina (P) i temperaturnog faktora (L):

$$D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (1)$$

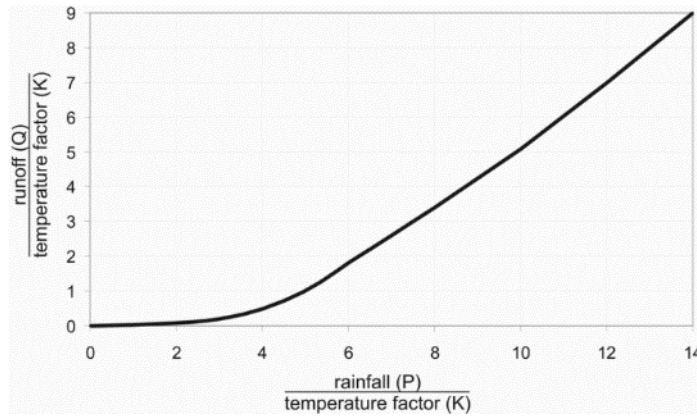
Temperaturni faktor (L) je proračunat pomoću formule:

$$L = 300 + 25 \times T + 0.05 \times T^3 \quad (2)$$

gdje T predstavlja povećanje temperature zraka.

Kao što pokazuje Slika 3.4.2, Langbein-ova metoda (1962) je zasnovana na međuodnosu između faktora međuodnosa oborina i temperatura (P/K) i faktora odnosa otjecanja i temperatura (Q/K), odnosno ona koristi oborine i temperature zraka kao ključne parametre za procjenu otjecanja. Temperatura zraka (T) je ugrađena u formulu za temperaturni faktor (K) koji se povećava eksponencijalno s porastom temperature:

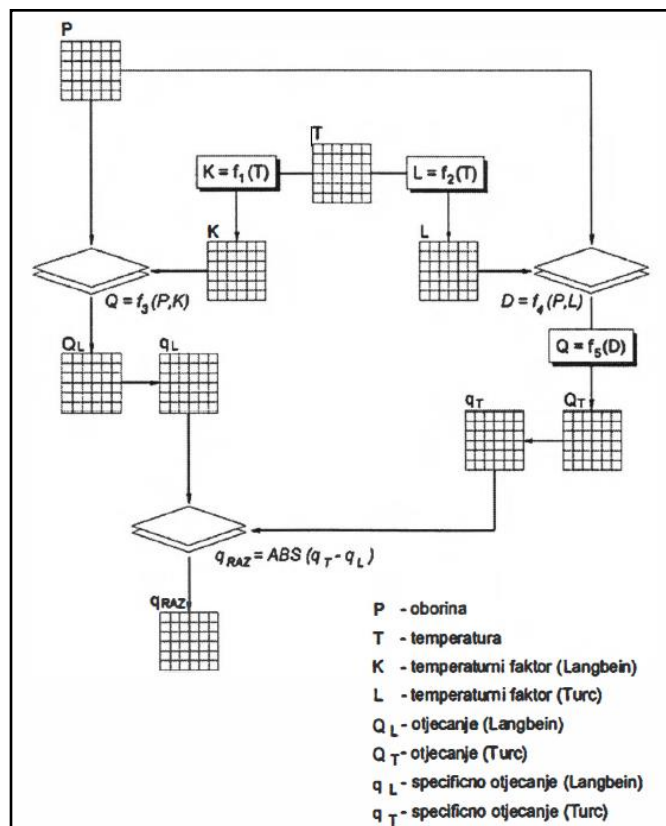
$$K = 10^{0.0278T + 0.886} \quad (3)$$



Slika 3.4.2. Langbeinova metoda – međuodnos između P/K i Q/K

Oba pristupa koriste prosječnu godišnju količina oborina i temperature zraka (često su to i jedini dostupni klimatološki podaci u hidrološkoj analizi otjecanja) kao prostorno promjenjive ulazne parametre. Geografski informacijski sustav uvelike olakšava procjenu prostorne raspodjele i prostorne analize ulaznih parametara i rezultata.

Prva iteracija (Slika 3.4.3) u procjeni godišnjeg otjecanja počinje s razgraničenjem slivova, na temelju orografskih značajki upotpunjenih s hidrogeološkim procjenama na krškim dijelovima slivova, nakon čega slijedi procjena prostorne raspodjele meteoroloških parametara (oborina i temperature).



Slika 3.4.3. Shematski prikaz iterativnog postupka definiranja međuodnosa otjecanja i površine pripadajućeg sliva

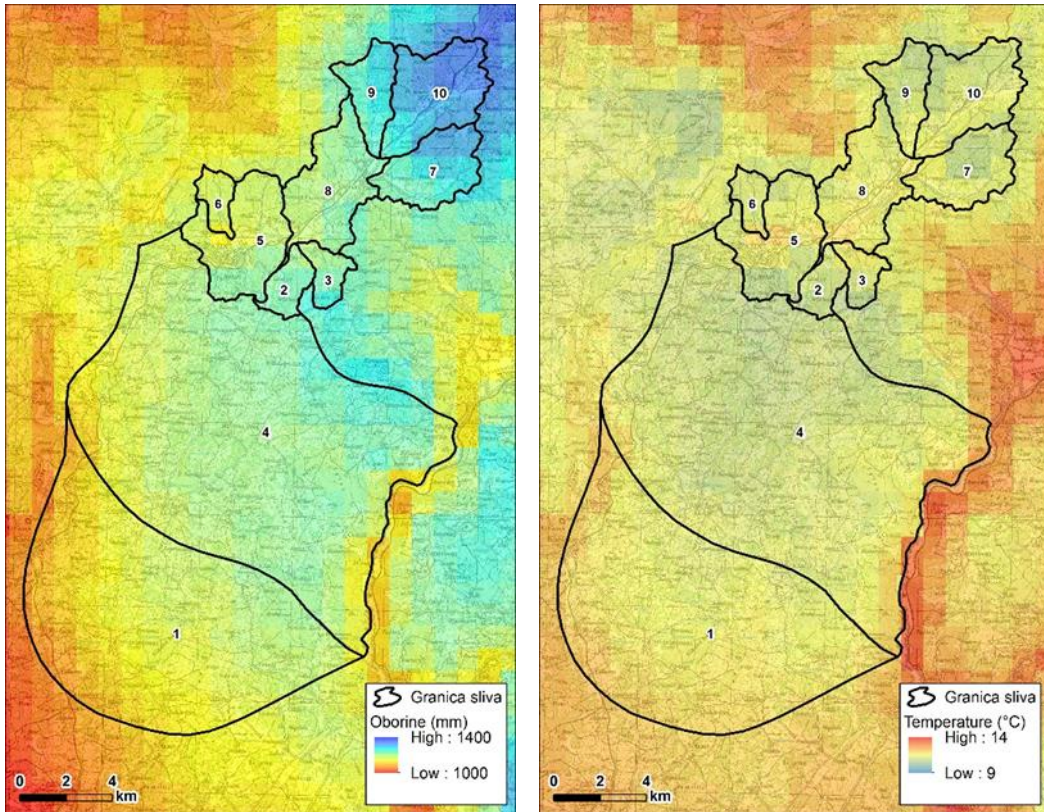
Zatim se provodi procjena prostorne raspodjele prosječnog godišnjeg otjecanja, a što može biti napravljeno pomoću Turc-ove i Langbein-ove metode, kao i na temelju rezultata osrednjavanja rezultata tih dvaju metoda iz razloga što su na području Hrvatske rezultati procjene po Turcu najčešće bliži gornjoj granici otjecanja, a Langbeinove bliži donjoj. Na temelju tih rezultata provode se usporedbe s mjenim podacima. Ako su razlike zanemarive, odabrana metoda, odnosno njeni rezultati se mogu prihvatiti i ići u 3. korak, odnosno konačne procjene godišnjeg otjecanja. Inače, ponavlja se druga iteracija, koja onda uključuje izmjenu jedne od ulaznih parametara (npr. slivna granica) ili pak neka promjena u samoj metodologiji (kao što su modifikacije analitičkim izrazima koji se koriste za procjenu hidroloških parametara).

Kalibracija i validacija modela, odnosno verifikacija rezultata provedenih modeliranja provedena je u dva segmenta – kalibracije ulaznih podataka u hidrološki model (podataka o prostornoj raspodjeli prosječnih godišnjih podataka o oborinama i sr. god. temperaturi zraka) za referentno 30-godišnje razdoblje 1961.-90. na način da su utvrđeni korekcijski međuodnosi između točkastih podataka mjenim na lokalitetu odabrane klimatološke postaje i vrijednosti dobivenih na temelju njihove prostorne raspodjele. Drugi segment provedene kalibracije tijekom istog vremenskog 30-godišnjeg razdoblja odnosio se na odabir mjerodavnog modela procjene sr. godišnjeg otjecanja/efektivnih oborina (po Turc-ovom ili Langbein-ovom modelu). To je napravljeno na temelju usporedbe rezultata modeliranja i mjenim podataka o otjecanjima s postaje Dubravica na Pazinčici tijekom referentnog 20-godišnjeg razdoblja.

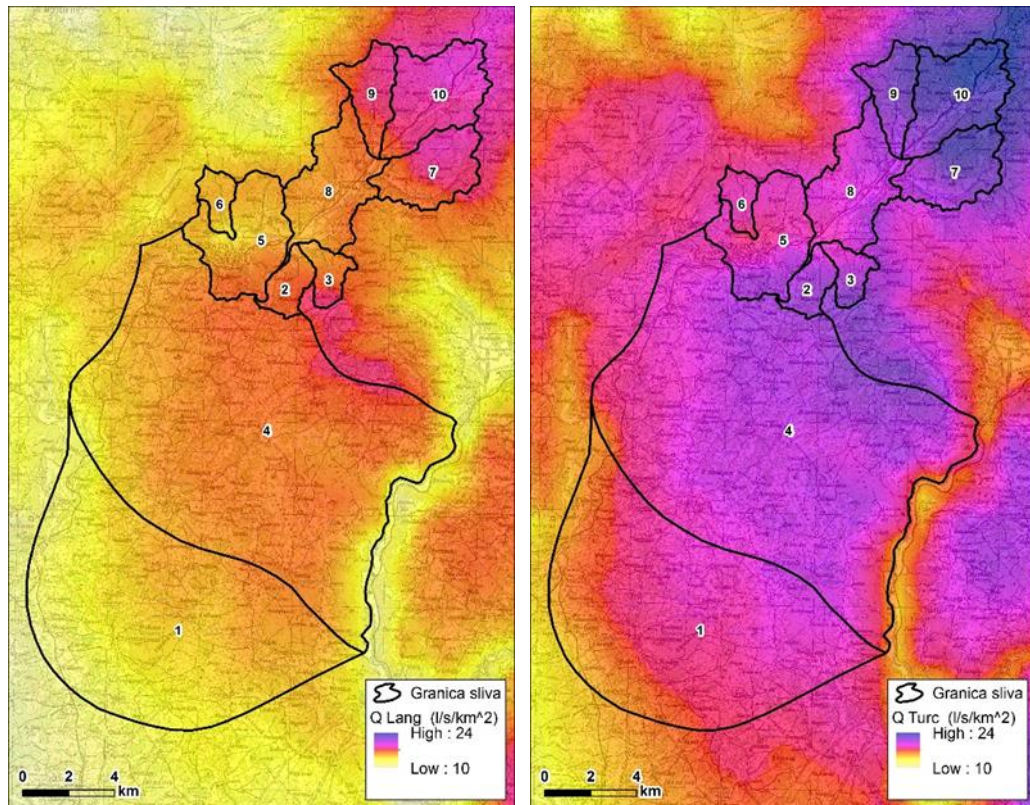
Klimatološki podaci (srednje godišnje temperature zraka i prosječne ukupne godišnje količine oborina) korišteni u predmetnoj analizi dostupni su u obliku prostorne raspodjele srednjih godišnjih vrijednosti za 30-godišnje vremensko razdoblje (1961.-1990.), a u formi rastera prostorne rezolucije 1.000 m, koje su izradili stručnjaci Državnog hidrometeorološkog zavoda (Slika 3.4.4). Radi se o prostornoj rezoluciji istovjetnoj prostornoj rezoluciji korištenog digitalnog elevacijskog modela (DEM-a). Spomenuti su prikazi dani na orografski determiniranim granicama sliva Pazinčice, kao i hidrogeološkim metodama utvrđenim granicama sliva krških izvora na desnoj obali rijeke Raše.

Na temelju tih prostornih klimatoloških podloga, sukladno u ovom poglavlju uvodno danoj metodologiji, definirane su karte prostornih raspodjeli specifičnog otjecanja po metodi Langbeina i metodi Turca (Slika 3.4.5). Prikazana je i karta prostornih razlika u rezultatima dobivenim ovim metodama na analiziranim područjima, te je dan i prostorni prikaz proračunatih vrijednosti specifičnih protoka osrednjavanjem rezultata po metodama Turca i Langbeina (Slika 3.4.6).

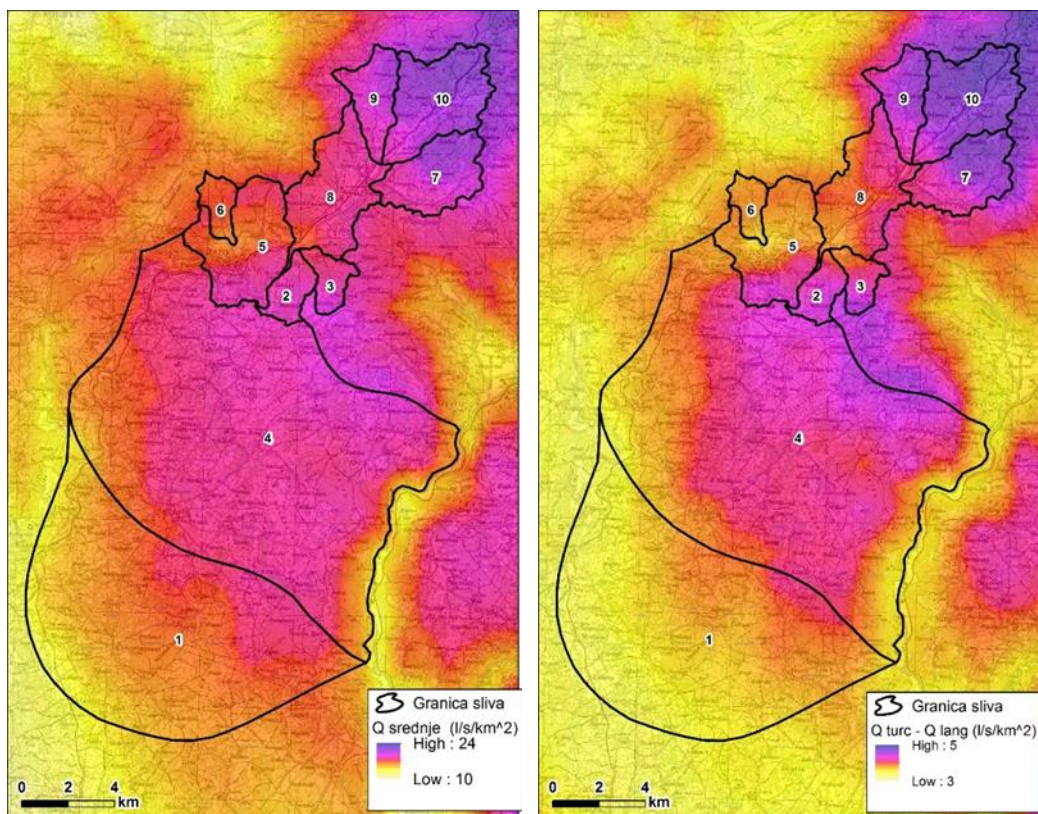
U tablici 3.4.1 dan je prikaz osnovnih klimatoloških elemenata izdvojenih slivnih površina na analiziranom području u razdoblju od 1961. do 1990.



Slika 3.4.4. Prikaz prostorne raspodjele srednjih godišnjih oborina (lijevo) i temperatura zraka (desno) za razdoblje 1961.-1990. (prema DHMZ-u, 2002)



Slika 3.4.5. Prikaz prostorne raspodjele specifičnih protoka pa metodi Langbeina (lijevo) Turca (desno) za razdoblje 1961.-1990.



Slika 3.4.6. Prikaz prostorne raspodjele specifičnih protoka osrednjenih iz rezultata obrade po metodi Langbeina i Turca (lijevo), kao i njihovih razlika (desno)

Tablica 3.4.1. Osnovni klimatološki elementi izdvojenih slivnih površina na analiziranom području (1961. - 1990.)

Slivno područje	Površina (km ²)	Sr. god. temperatura zraka (°C)	God. količine oborina (mm)
2	4,25	11,0	1.226
3	3,73	11,2	1.227
7	11,27	11,2	1.273
8	17,10	11,5	1.208
9	7,39	11,1	1.262
10	15,47	11,5	1.313
Dubravica - ukupno	59,22	11,2	1.257
5	14,85	11,3	1.183
6	3,30	11,3	1.162
Pazinčica skupno	77,37	11,2	1.239
1	97,99	11,6	1.140
4	151,64	11,2	1.195
Sliv izvora desne obale Raše - skupno	249,63	11,4	1.173
SVEUKUPNI SLIV	327,00	11,4	1.193

Iz danih je prikaza vidljivo da je srednja godišnja temperatura zraka za referentno 30-godišnje razdoblje na cjelokupnom slivu Pazinčice 11,2 °C, koliko je i za dio njenog sliva do profila hidrološke postaje Dubravica Pazinčica, a što je nešto više u odnosu na srednju godišnju temperaturu zraka na klimatološkoj postaji Pazinčica. Što se pak tiče srednjih godišnjih oborina, višegodišnji prosjek za cjelokupni sliv Pazinčice iznosi 1.239 mm, za profil Dubravica 1.257 mm, a za klimatološku postaju Pazin 1.165 mm. Srednja god. temperatura zraka za dio sliva Raše (desnoobalni izvori i tokovi između Potpićana i izvora Rakonek) koji se (uz prihranjivanje vodama Pazinčice putem njene ponorske zone) napaja iz međusliva između sliva Pazinčice i Raše iznosi 11,4 °C, a srednja godišnja količina oborina 1.173 mm. Srednja god. temperatura zraka za cjelokupni razmatrani sliv iznosi 11,4 °C, a srednja godišnja količina oborina 1.193 mm.

Sumarni rezultati provedenih obrada prostorne raspodjele specifičnih protoka po metodama Langbeina, Turca te njihovih osrednjenih vrijednosti, dani su u Tablici 3.4.2. Provedena je i usporedba tako proračunatih vrijednosti sa vrijednošću srednjeg godišnjeg protoka Pazinčice na profilu Dubravica s mjerenim podacima na tom profilu, nadopunjenih za razdoblje 1961.-1971. na temelju provedene regresijske analize (Građevinski fakultet u Rijeci, 2005). Kako je vrijednost srednjeg godišnjeg protoka, dobivenog na temelju podataka osmatranja $0,960 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, vrlo bliska rezultatima provedenih obrada po metodi Langbeina, ona je usvojena kao mjerodavna, s time da su usvojene vrijednosti protoka dobivene redukcijom tako dobivenih rezultata i podataka dobivenim na temelju hidroloških osmatranja za spomenuti profil Dubravica – Pazinčica.

Tablica 3.4.2. Srednje godišnje vrijednosti protoka izdvojenih slivnih površina na analiziranom području sliva (1961.-1990.)

Slivno područje	Specifične protoke (l/s/km ²)			Ukupne protoke (m ³ s ⁻¹)			
	Po Langbeinu	Po Turcu	Osrednjeno Langbein i Turc	Po Langbeinu	Po Turcu	Osrednjeno Langbein i Turc	Usvojeno – reducirano po Langbeinu
2	16,4	20,7	18,5	0,070	0,088	0,078	0,067
3	16,3	20,5	18,4	0,061	0,076	0,068	0,058
7	17,4	21,8	19,6	0,196	0,246	0,221	0,187
8	15,7	19,7	17,7	0,269	0,337	0,302	0,256
9	17,2	21,6	19,4	0,127	0,160	0,143	0,121
10	18,4	23,0	20,7	0,284	0,356	0,320	0,271
Dubravica - ukupno	17,0	21,3	19,2	1,007	1,262	1,135	0,960
5	15,3	19,2	17,2	0,227	0,285	0,255	0,216
6	14,8	18,6	16,9	0,049	0,061	0,055	0,047
Pazinčica skupno	16,6	20,1	18,7	1,282	1,608	1,446	1,222
1	14,0	17,6	15,8	1,369	1,724	1,547	1,305
4	15,6	19,6	17,6	2,365	2,974	2,570	2,255
Izvori i površinski dotoci desne obale Raše - skupno	15,0	18,8	16,4	3,734	4,698	4,177	3,560
SVEUKUPNO	15,3	19,3	17,3	5,016	6,305	5,662	4,782

Iz danog je prikaza vidljivo da je prosječan bilančni udio srednjih godišnjih protoka Pazinčice na Dubravici ($0,960 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) u srednjim godišnjim protocima cjelokupnog sliva Pazinčice ($1,222 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) 79,6%. S druge strane, udio srednjih godišnjih protoka cjelokupnog sliva Pazinčice u bilanci ukupnih srednjih godišnjih protoka desne obale Raše između Potpićna i Rakoneka ($4,782 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) iznosi oko 25,5 %. Naravno, radi se o aproksimativnim procjenama iz razloga što granice analiziranih slivova u kršu nisu jednoznačne, a ni jednostavno odredive, te vode Pazinčice prihranjuju i izvore koji su locirani južnije od izvora Rakonek. No, generalno, usvojeni rezultati provedenog bilanciranja su regionalno prihvatljivi jer su slični pokazatelji dobiveni i u okviru širih analiza vodne bilance istarskih slivova (Građevinski fakultet u Rijeci, 2005). Isto tako, i procijenjeni bilančni doprinos dotoka površinskih voda svih izvora s desne obale rijeke Raše između Potpićna i Rakoneka je blizak izmjerenim dotocima DHMZ-a na svim stalnim i važnijim povremenim izvorima tijekom hidrološki prosječne godine 1981./82. Naime, prema provedenim analizama u dokumentu JVP istarskih slivova (1992), bilančni doprinos izvora s desne obale rijeke Raše je oko $3,2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a međudotok sa ukupnog sliva procijenjen na $0,35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, što za lijevu obalu Raše daje ukupni bilančni doprinos od oko $3,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

3.5. Osnovna hidrološka analiza voda u slivu Pazinčice

3.5.1. Analiza rezultata monitoringa s postaje Dubravica – Pazinčica

Hidrološka postaja Dubravica ima najcjelovitiji niz mjerenih hidroloških podataka – najprije tijekom početnog razdoblja uspostave 1954.-70. s nekoliko vodokaznih profila koji su se zbog nestabilnosti mijenjali, a nakon uspostave limnigrafa na sadašnjoj lokaciji kod željezničkog mosta, kontinuirane podatke počev od 1972.g. Izuzetak je situacija nakon pojave vodnog vala u listopadu 1993. godine, kad je velika voda preplavila i odnijela limnigraf, pa je maksimalni vodostaj određen niveliranjem prema tragovima velike vode, a srednje dnevne protoke za dva dana (22. i 23.10.1993.) određene prema modelskim analizama rekonstruiranog vodnog vala (poglavlje 3.6.2). Za napomenuti je i da su do ponovne uspostave limnigrafskih praćenja 18.4.1997., dnevni vodostaji i protoci obrađivani iz vodokaznih praćenja, a tek nakon toga iz limnigrafskih.

U Tablicama 3.5.1 – 3.5.4 prikazani su rezultati osnovne statističke obrade podataka (Sr – srednja vrijednost niza, Stdev – standardna devijacija, Cv – koeficijent varijacije, Max i Min – ekstremne registrirane vrijednosti unutar analiziranog niza srednjih mjesečnih ili godišnjih vrijednosti) maksimalnih, srednjih i minimalnih mjesečnih i godišnjih vodostaja, protoka, pronosa i koncentracije suspendiranog nanosa na postaji Dubravica – Pazinčica u razdoblju od 1972. do 2018. Za napomenuti je da se podaci o srednjim godišnjim i mjesečnim vodostajima, zbog pojava presušivanja vode u koritu tijekom dugotrajnih sušnih razdoblja, nisu mogli iskazivati, te su dani samo podaci o zabilježenim ekstremima tijekom pojedinih godina i mjeseci. Uz karakteristične mjesečne i godišnje pokazatelje tijekom spomenutog analiziranog razdoblja 1972. - 2018., u tablicama su dane i osmotrene vrijednosti tijekom 2018. i 2019.g. kada se je provodio dodatni monitoring. U Tablici 3.5.2 dan je i prikaz srednjih mjesečnih i godišnjih protoka za referentno 30-godišnje klimatsko razdoblje 1961.-90., pri čemu su podaci iz razdoblja 1961.-1971. preuzeti iz obrada sadržanih u elaboratu Građevinskog fakulteta u Rijeci (2005).

Na slikama 3.5.1 – 3.5.8 dani su prikazi trendova hoda karakterističnih srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih vrijednosti vodostaja, protoka, i koncentracije i pronosa nanosa, kao i njihova unutar godišnja raspodjela.

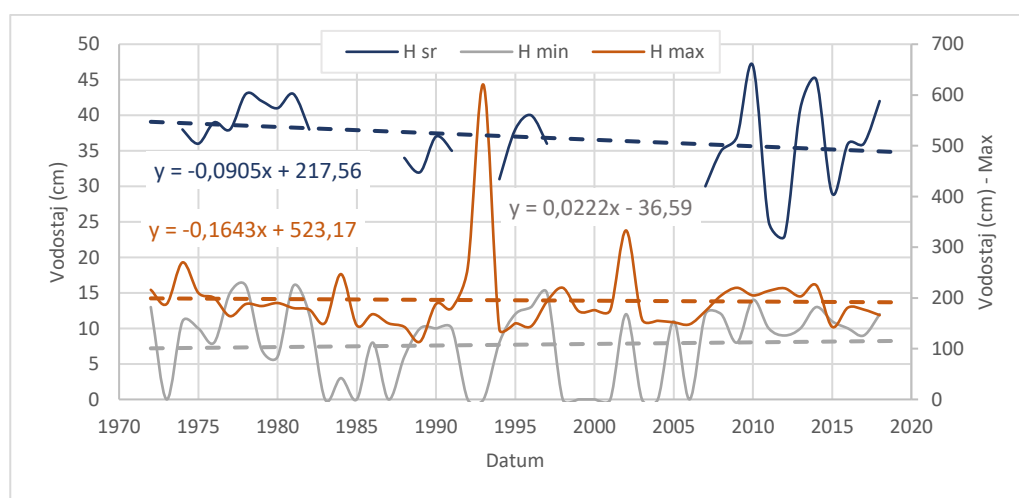
Vidljivo je da je razdoblje koje je prethodilo monitoringu (prvi dio 2018.) u pogledu protoka bilo uglavnom iznadprosječno vodno, da bi se nastavilo s ispodprosječnim srednjim mjesečnim protocima u jesen pa sve do siječnja 2019. godine. Veljača, a posebno svibanj 2019. su bili vodniji od prosjeka, a ljetno pak iznimno sušno. Zabilježene male vode nisu bile ekstremne do mjere da je bilo presušivanja korita na profilu hidrološke postaje, ali su bile niže od prosjeka tijekom ljetnih mjeseci. Velike vode su pak bile uglavnom veće od prosjeka, s time da vrijedi istaći pojavu vodnog vala iz veljače 2019. s vršnim protokom od $43 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, koji je bio ne samo najveći zabilježen tijekom veljače od 1972., nego i jedan od uopće najvećih do sada zabilježenih. No ipak je bio značajnije niži od katastrofalnog vodnog vala iz listopada 1993. godine, kod koga je zabilježen vršni protok od $176 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, ali četvrti po redu pojavnosti – od njega je bio veći još samo zabilježeni vodni valovi iz 2002. ($70,2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), te praktički jednaki vodni val iz 1974. ($45,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$).

Iz danih prikaza podataka o karakterističnim mjesečnim i godišnjim vrijednostima vodostaja, vidljivo je da od 2006. g. nisu zabilježena presušivanja vodostaja, a što je razlog pojačanog nadzora nad uglavnom nekad nelegalnim zahvaćanjima voda iz korita za potrebe navodnjavanja,

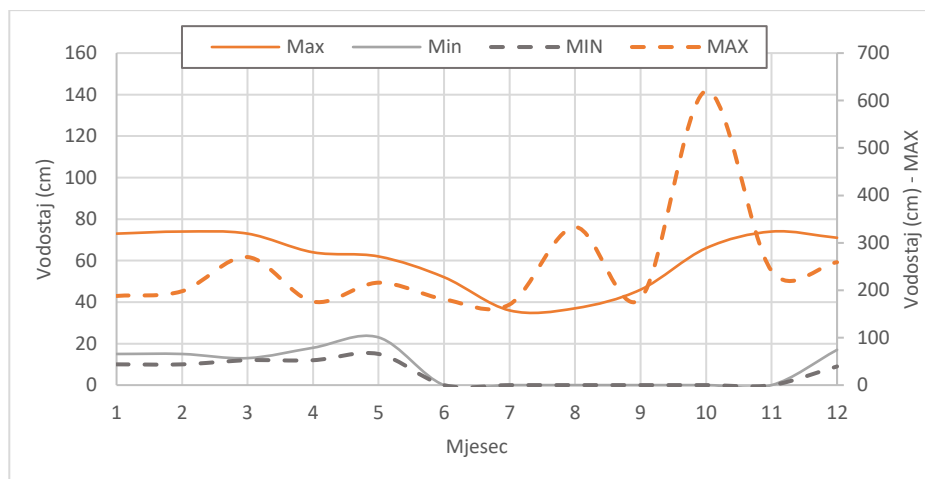
kao i pritisak javnosti da se slapovi Pazinčice na Zarečkom krovu ipak sačuvaju makar i uz minimalne protoke.

Tablica 3.5.1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti vodostaja (cm) na postaji Dubravica u razdoblju od 1972. do 2018. godine

Dubravica - Vodostaj (1972. - 2018.)													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji (cm)													
Sr	46	47	44	45	37							46	37
Stdev	13	13	12	9	10							14	5
Cv	0,285	0,286	0,275	0,212	0,264							0,302	0,142
Max	73	74	73	64	62	52	36	37	46	66	74	71	47
Min	15	15	13	18	23	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	17	23
2018	57	61	73	51	36	32	29	17	29	34	43	40	42
2019	33	49	26	45	67	33	15	21	25				
Maksimalni (cm)													
Sr	115	113	114	103	87	77	56		71		132	128	195
Stdev	46	48	56	38	39	38	37		46		57	53	74
Cv	0,397	0,426	0,493	0,365	0,448	0,485	0,649		0,648		0,433	0,410	0,381
Max	188	198	270	176	216	181	170	333	182	620	241	259	620
Min	16	23	15	30	32	20	15	SUHO	10	SUHO	16	23	114
2018	166	118	166	110	85	83	94	36	120	156	108	128	166
2019	52	228	42	140	172	112	32	76	80				
Minimalni (cm)													
Sr	30	31	30	30	24							29	
Stdev	8	8	8	6	6							9	
Cv	0,276	0,258	0,257	0,203	0,240							0,306	
Max	45	46	51	39	35	35	22	22	27	37	38	45	16
Min	10	10	12	12	15	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	9	SUHO
2018	38	39	51	34	25	20	18	12	16	16	29	33	12
2019	26	29	23	22	45	14	11	11	14				



Slika 3.5.1. Hod karakterističnih godišnjih vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih vodostaja zabilježenih na postaji Dubravica (1972.-2018.) i njihov trend

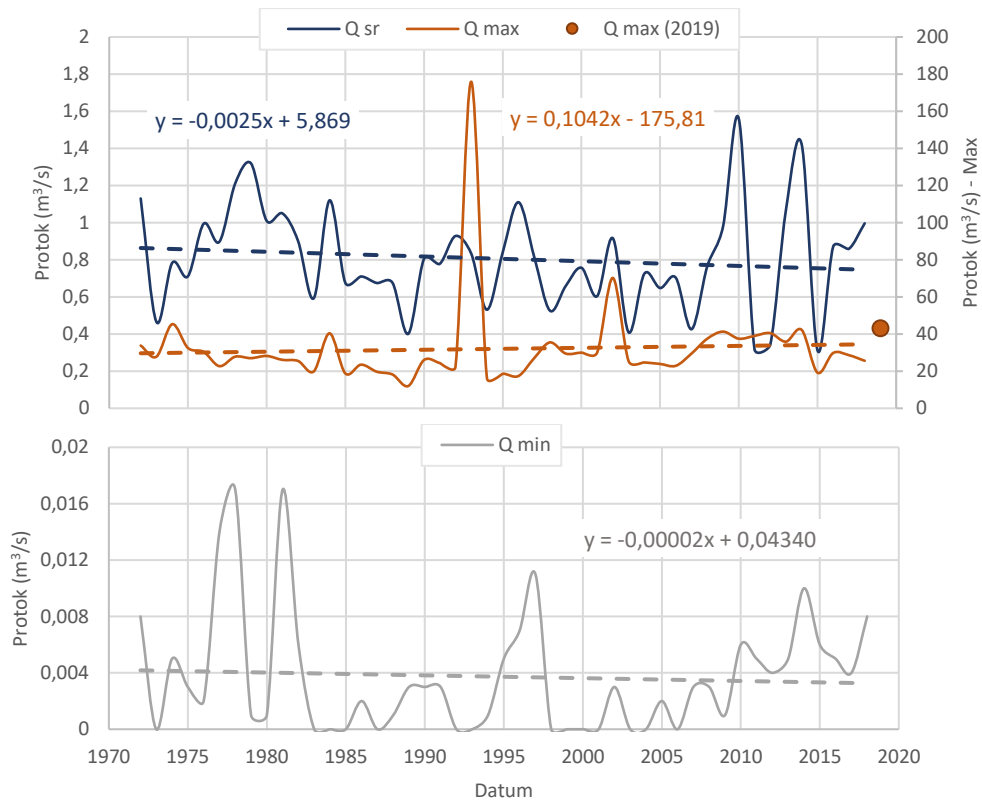


Slika 3.5.2. Unutar godišnja raspodjela prosječnih maksimalnih i minimalnih mjesečnih vodostaja na postaji Dubravica (1972.-2018.)

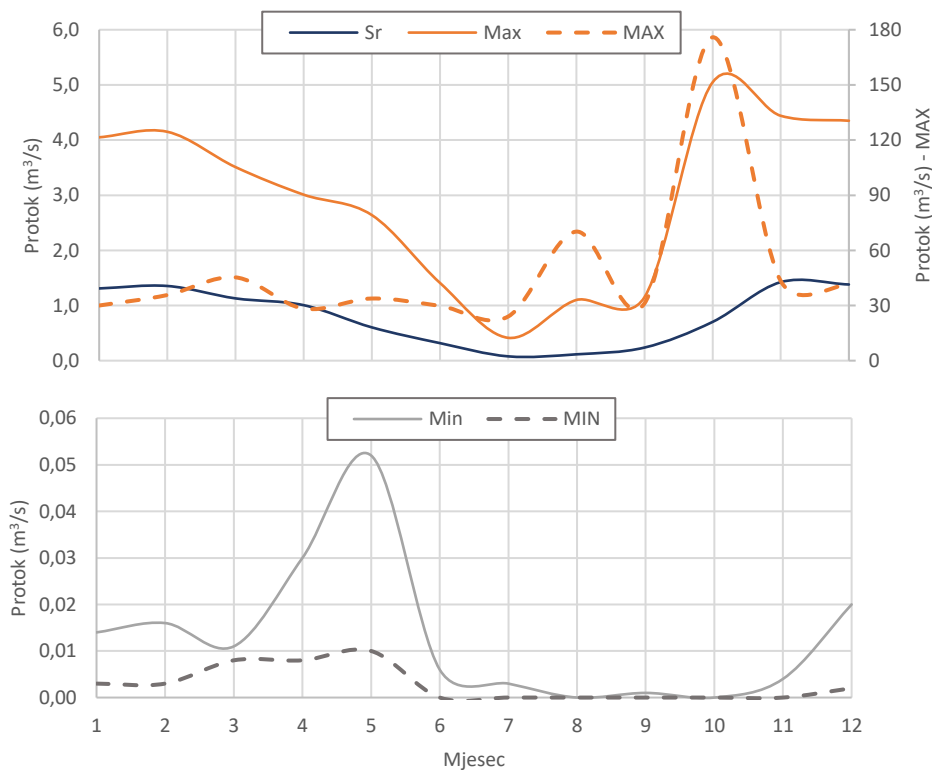
Tablica 3.5.2. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka (m^3s^{-1}) na postaji Dubravica u razdoblju od 1972. do 2018. godine

Dubravica - Protok (1972. - 2018.)													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji ($m^3 s^{-1}$)													
Sr	1,31	1,35	1,13	1,01	0,604	0,318	0,078	0,115	0,237	0,703	1,42	1,38	0,805
Stdev	1,04	1,02	0,834	0,660	0,620	0,371	0,095	0,210	0,304	1,020	1,22	1,08	0,282
Cv	0,792	0,754	0,739	0,656	1,03	1,17	1,21	1,83	1,28	1,45	0,856	0,781	0,350
Max	4,05	4,15	3,51	3,01	2,64	1,41	0,414	1,10	1,15	5,05	4,44	4,35	1,56
Min	0,014	0,016	0,011	0,03	0,052	0,006	0,003	0	0,001	0	0,004	0,02	0,313
1961.-1990.*	1,67	1,64	1,31	1,21	0,701	0,474	0,142	0,187	0,363	0,801	1,63	1,39	0,960
2018	1,89	1,96	3,51	1,13	0,355	0,282	0,249	0,026	0,358	0,826	0,756	0,609	0,996
2019	0,259	2,09	0,088	1,15	3,24	0,426	0,021	0,086	0,129				
Maksimalni ($m^3 s^{-1}$)													
Sr	13,4	13,2	13,9	10,5	7,28	5,99	3,20	5,36	5,82	13,43	17,7	15,7	32,0
Stdev	8,92	10,0	11,4	7,48	7,63	6,66	5,42	11,6	7,55	26,4	12,0	10,5	23,6
Cv	0,664	0,754	0,820	0,713	1,048	1,111	1,695	2,159	1,298	1,967	0,677	0,667	0,735
Max	30	35,7	45,3	28,3	33,8	29,8	24	70,2	31,1	175,9	43,3	41,3	175,9
Min	0,017	0,059	0,015	0,151	0,150	0,023	0,011	0	0,003	0	0,017	0,059	12
2018	25,6	12,3	25,6	10,1	4,65	4,32	6,3	0,3	12,9	22,8	9,56	15	25,6
2019	1,01	43	0,505	18,4	27,2	10,7	0,192	3,3	3,86				
Minimalni ($m^3 s^{-1}$)													
Sr	0,186	0,209	0,190	0,155	0,079	0,036	0,009	0,007	0,012	0,035	0,073	0,174	0,004
Stdev	0,155	0,169	0,180	0,092	0,067	0,047	0,010	0,010	0,020	0,043	0,079	0,149	0,004
Cv	0,832	0,812	0,946	0,591	0,849	1,319	1,169	1,463	1,715	1,251	1,077	0,855	1,165
Max	0,57	0,68	0,948	0,357	0,26	0,24	0,052	0,052	0,106	0,196	0,324	0,57	0,017
Min	0,003	0,003	0,008	0,008	0,01	0	0	0	0	0	0	0,002	0
2018	0,362	0,395	0,948	0,241	0,078	0,037	0,026	0,008	0,018	0,018	0,134	0,216	0,008
2019	0,09	0,134	0,059	0,051	0,633	0,012	0,006	0,006	0,012				

* preuzeto iz elaborata Građevinskog fakulteta u Rijeci (2005)



Slika 3.5.3. Hod karakterističnih godišnjih vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih protoka zabilježenih na postaji Dubravica (1972.-2018.) i njihov trend

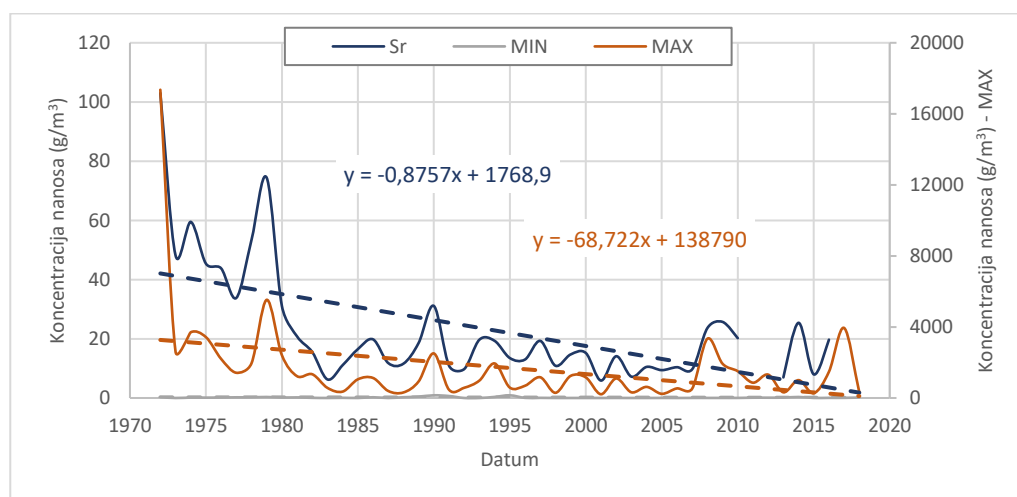


Slika 3.5.4. Unutar godišnja raspodjela prosječnih maksimalnih, srednjih i minimalnih mjesečnih protoka na postaji Dubravica (1972.-2018.)

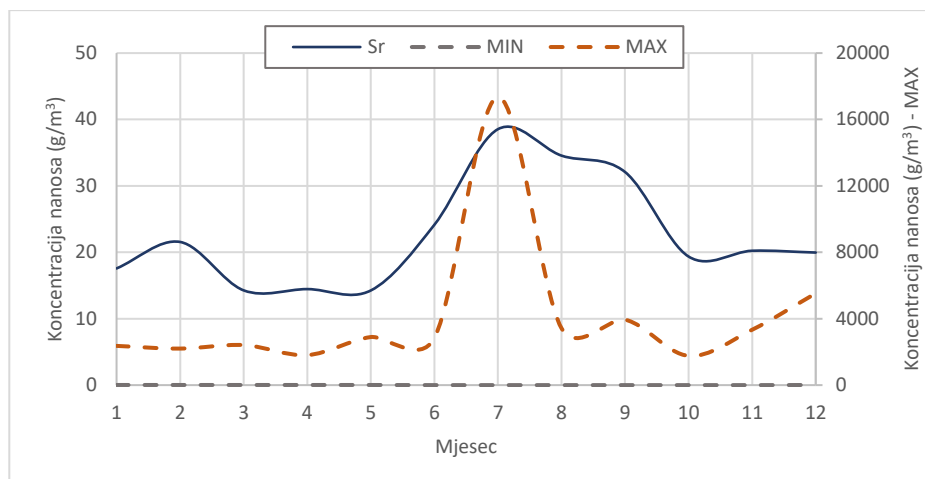
Trend srednjih godišnjih protoka pokazuje blago izraženo njihovo opadanje ($2,5 \text{ Ls}^{-1}/\text{god}$), minimalni praktički stagniraju, a maksimalni pokazuju blagi trend porasta ($1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}/10 \text{ god}$). Unutar godišnja raspodjela protoka pokazuje uobičajenu distribuciju za vodotoke u priobalju na čiji vodni režim nema utjecaj topljenje snijega – prosječno najvodnije razdoblje je studeni-veljača, a najsušnije ljeti tijekom srpnja i kolovoza.

Tablica 3.5.3. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti koncentracije nanosa (g/m^3) na postaji Dubravica u razdoblju od 1972. do 2018. godine

Dubravica - Koncentracija nanosa (1972. - 2018.)													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji (g/m^3)													
Sr	17,6	21,6	14,3	14,5	14,3	24,1	38,5	34,6	32,1	19,4	20,2	20,0	23,0
Stdev	27,9	28,3	20,7	14,3	23,6	27,2	113,3	36,6	44,7	25,5	23,4	29,7	19,7
Cv	1,59	1,31	1,45	0,99	1,66	1,13	2,94	1,06	1,39	1,32	1,15	1,49	0,854
Max	131	151	128	73,2	160	122	756	159	191	107	133	186	103
Min	0,718	0,079	0,048	0,027	0,277	1,34	1,27	0	0,273	0	0,127	0,17	5,88
Maksimalni (g/m^3)													
Sr	259	324	211	191	179,4	312,5	655,1	551	553	304	337	395	1688
Stdev	485	475	407	311	441	522	2561	751	945	471	529	879	2602
Cv	1,87	1,47	1,93	1,63	2,46	1,67	3,91	1,36	1,71	1,55	1,57	2,22	1,541
Max	2363	2201	2412	1810	2896	2837	17355	3428	3943	1764	3336	5527	17355
Min	3,22	0,32	0,26	0,06	1,16	3,14	3,6	0	1,14	0	2,26	4,34	210
Minimalni (g/m^3)													
Sr	0,951	0,960	1,10	1,55	1,96	2,44	2,12	1,84	1,38	0,704	0,730	0,763	0
Stdev	1,39	1,37	1,33	1,76	1,82	2,33	2,04	2,19	1,76	0,829	0,892	0,872	0,215
Cv	1,46	1,42	1,22	1,13	0,928	0,955	0,960	1,19	1,27	1,18	1,22	1,14	1,48
Max	8,53	6,43	5,31	8,22	6,77	9,16	7,24	7,84	8,97	4,0	3,6	3,18	0,90
Min	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0	0	0	0	0	0,02	0



Slika 3.5.5. Hod karakterističnih godišnjih vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih koncentracija nanosa zabilježenih na postaji Dubravica (1972.-2018.) i njihov trend

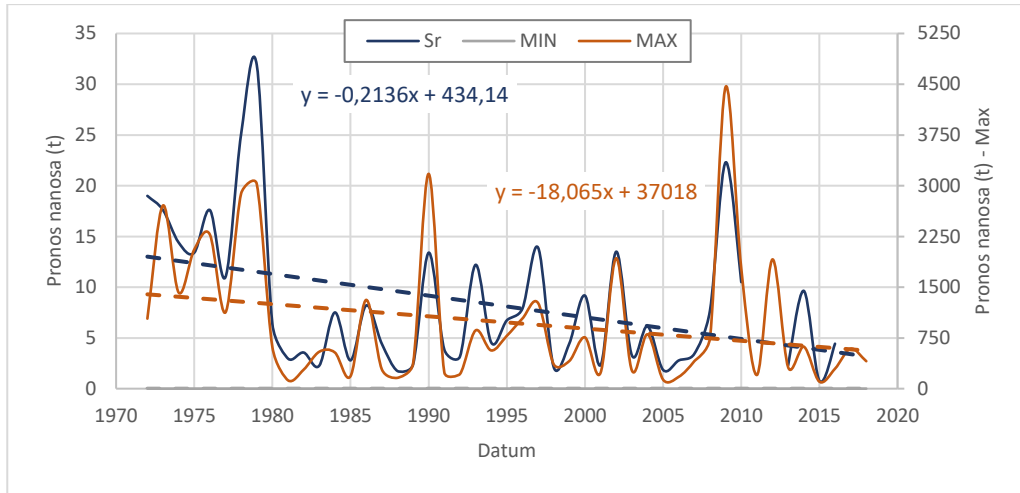


Slika 3.5.6. Unutar godišnja raspodjela srednjih, maksimalnih i minimalnih mjesečnih koncentracija nanosa na postaji Dubravica (1972.-2018.)

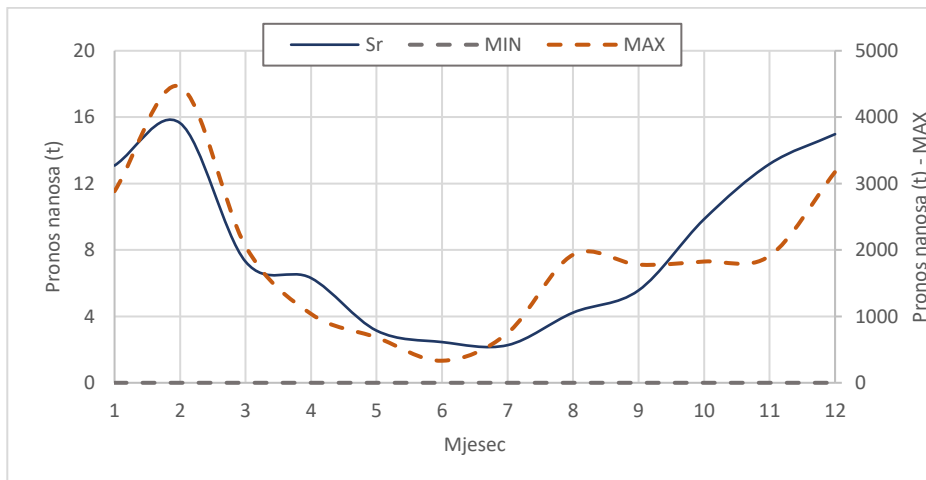
Na osnovu podataka o izmjerenim dnevnim koncentracijama suspendiranog nanosa te odgovarajućih vrijednosti srednjih dnevnih protoka, provode se i procjene godišnjeg pronosa nanosa. Iz slika 3.5.5 i 3.5.7 vidljivo je da postoji izražen trend smanjenja, kako srednjih godišnjih količina pronosa i koncentracije nanosa, tako i maksimalnih. To smanjenje pronosa i koncentracije nanosa se može pripisati postupnoj promjeni vegetacijskog pokrova u slivu, odnosno povećanju pošumljenosti te smanjenju produkcije nanosa u slivu uslijed smanjenja pritiska na šumske i pašnjačke površine u gornjim dijelovima sliva.

Tablica 3.5.4. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti pronosa nanosa (t) na postaji Dubravica u razdoblju od 1972. do 2018. godine

Dubravica - Pronos nanosa (1972. - 2018.)													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji (t)													
Sr	13,1	15,6	7,30	6,31	3,14	2,45	2,27	4,23	5,57	9,9	13,2	15,0	8,37
Stdev	28,2	32,8	12,5	9,8	9,35	3,94	6,61	11,7	13,1	20,3	18,5	22,8	7,03
Cv	2,15	2,10	1,72	1,55	2,98	1,61	2,92	2,77	2,35	2,07	1,41	1,52	0,840
Max	126	199	73,4	37,6	60,4	14,4	34,7	72,8	68,7	85,8	78,8	103	31,9
Min	0,004	0,001	0	0	0,001	0,002	0,001	0	0	0	0,001	0,001	0,781
Maksimalni (t)													
Sr	275	338	160	135	47,7	50,3	47,9	100	147	181	255	360	979
Stdev	635	756	332	250	113	91	141	297	349	382	369	662	991
Cv	2,31	2,24	2,07	1,85	2,37	1,81	2,95	2,96	2,37	2,11	1,45	1,84	1,012
Max	2885	4461	2057	1037	683	332	748	1928	1779	1826	1911	3175	4461
Min	0,008	0,006	0,003	0,001	0,006	0,004	0,007	0	0	0	0,008	0,014	104
Minimalni (t)													
Sr	0,027	0,030	0,030	0,030	0,025	0,014	0,004	0,003	0,006	0,007	0,009	0,019	0
Stdev	0,069	0,056	0,057	0,037	0,036	0,028	0,006	0,007	0,020	0,018	0,016	0,032	0,001
Cv	2,52	1,86	1,86	1,20	1,47	1,95	1,57	2,28	3,33	2,68	1,73	1,67	2,47
Max	0,444	0,319	0,274	0,168	0,172	0,168	0,025	0,037	0,128	0,1	0,072	0,148	0,004
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Slika 3.5.7. Hod karakterističnih godišnjih vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih pronosa nanosa zabilježenih na postaji Dubravica (1972.-2018.) i njihov trend



Slika 3.5.8. Unutar godišnja raspodjela srednjih, maksimalnih i minimalnih mjesečnih pronosa nanosa na postaji Dubravica (1972.-2018.)

3.5.2. Velike vode

Unatoč okolnosti da su hidrološka osmatranja u slivu Pazinskog potoka počela tek 1954., sporadičnih informacija o pojavama iznimno velikih voda ima i za puno ranije razdoblje. Dobar izvor informacija za to je knjiga Feresinijeve (2012), izvorno izdane u Trstu 1972.g. na talijanskom jeziku, web stranica (<http://blog.dnevnik.hr/mojpotok>), kao i izvještaj JVP istarskih slivova (1993 a) o pojavi katastrofalne poplave u Istri u listopadu 1993.godine.

3.5.2.1. Povijest poplavlivanja Pazinske jame

Prema uvodno spomenutim izvorima, područje Pazinske jame ima dugu povijest poplavlivanja čemu su razlog ne samo pojave velikih voda, nego i ograničeni kapacitet Pazinske jame. Zbog slabe propusnosti sifona ograničene poplave se javljaju gotovo svake godine, u razdobljima obilnih kiša, kad se pred ulazom u podzemlje stvori kratkotrajno jezero, a iznimno velike poplave svakih nekoliko desetaka godina. Prvo poplavlivanje zabilježeno je u 25.9.1774. godine sa smrtnim posljedicama po troje stanovnika Pazinštine, što je vjerojatno i razlog da se ta poplava zabilježila u povijesnim izvorima. Nakon nje bilo je još nekoliko drugih značajnih pojava, zabilježene uglavnom u tadašnjem tisku, a koje su u nastavku kratko opisane.

Tako tršćanski dnevni list „Il Piccolo“ 18.11.1883. piše da je Pazinčica u noći između 8. i 9.11. te godine tijekom velikih kiša nabujala skoro kao nikad ranije, te iznenada poplavila niže terene i više mlinova. Po prestanku kiše, već 9.11. ujutro, Pazinčica je stala ubrzano otjecati.

Vezano uz poplave u slivu Pazinčice, za spomenuti je izvještaj koga je nakon detaljnog terenskog pregleda tijekom 1895. godine dne 24.1.1896. uputio poznati hidrotehnički inženjer Carl Aberst tada nadležnom Tršćanskom namjesništvu. U izvještaju daje osvrt na manifestacije i uzroke poplava duž čitavog sliva Pazinčice, te predlaže geodetska snimanja i planiranje te provedbu regulacijskih radova na povećanju kapaciteta korita.

Već iste te godine, Il Piccolo piše o najvećoj do sada zapaženoj poplavi od 15.10.1896. Razina vode se podigla do kote od čak 240 m n.m., odnosno svega 30 metara ispod razine terase ispred Kaštela. Dokumentirao ju je istraživač Pazinske jame E.A. Martel, koji pretpostavlja da će iznimno veliki hidrostatski pritisci od u danom slučaju čak preko 70 m doprinijeti postupnom povećanju podzemnih komunikacijskih kanala pa i sifona na početku jame, te tako i njenog odvodnog kapaciteta.

Interesantno je i svjedočenje vezano uz poplavu od 26.3.1928. koju je dao novinar tršćanskog dnevnog lista Il Piccolo Mario Granbassi, prema kojem je u toj situaciji Most Sv. Jožefa jedva izvirivao iz vode. Pri tome posebno je za istaknuti zapažanje o pojavi tutnjave iz podzemlja i odčeppljivanju Pazinske jame nakon čega se formirano jezero u predprostoru Pazinske jame brže prazni u podzemlje.

Poznati su i navodi s foto prikazom poplave od 15.9.1930.

Uz ideje kako umanjiti poplavlivanje Pazinčice i njima izazvane štete, javljaju se i ideje o zabrtvljenju ponora Pazinčice kako bi se stvorila akumulacija koja bi se dala energetski koristiti ili za navodnjavanje. Isprva je to vezano uz ing. Zanelle o kome nema sačuvanih informacija, a

1940.g. u Okvirnom geološkom mišljenju o projektu hidroelektričke iskoristivosti Pazinske jame u Istri detaljniji osvrt daje prof. Vardabasso. On razmatra geologiju područja i problem vodoodrživosti, te ocjenjuje da to ne bi bio previše ograničavajući faktor, te predlaže formiranje akumulacije veličine čak oko 110 mil m³ za pokretanje el. centrale u špilji. Ono što je posebno važno vezano uz tadašnja razmatranja toga projekta je mišljenje slavnog geologa D'Ambrosija od 28.11.1942. u kome navodi okolnosti koje spomenuto rješenje nije respektiralo, a moglo bi bitno utjecati na poplavlivanje el. postrojenja u samoj špilji u ponoru. Naime, on u svom mišljenju navodi da „moguće da privremeno jezero u razdoblju velikih voda ne nastaje samo zbog velike vodne mase koja se zadržava u kišnom bazenu Pazinčice i obrušuje prema relativno uskom ždrijelu, nego u prvom redu zbog još veće kišne mase koja pljušti po vapnenačkoj zaravni, obogaćujući i podižući razinu podzemne vode kroz prokapljivu, pukotinama ispresijecanu kršku površinu“. Površina jezera bi se u tom slučaju usporedo s površinom podzemne vode, predstavljajući ništa drugo do li njezinu izvanjsku, opipljivu i pogledu dostupnu manifestaciju... Ukoliko je uistinu tako, zamišljeno zatvaranje Jame i posljedično stvaranje umjetnog jezera ne bi otklonilo opasnost od prelijevanja jezera i poplavlivanja električne centrale do koga bi moglo doći prilikom izlivanja vode iz ždrijela. Takvih je ždrijela koja se povremeno pretvaraju u izvore u razdoblju obilnih kiša već prilično na Krasu...“ Očito je da je D'Ambrosi nije zanemario potencijalni utjecaj podzemnih voda na dotoke i otjecanja voda na prostoru Pazinske jame.

Među značajnijim pojavama poplava Pazinčice nakon II sv. rata, kao prva se spominje poplava iz 1958.g.

U listopadu 1964. godine pala je najveća do tada zabilježena mjesečna količina oborina od 463 mm. Razina vode u Pazinskoj jami dosegla je visinu oko 234 m n.m., a duljina novonastalog jezera bila je 3 kilometara do Zarečkog krova, što je također fotodokumentirano.

Iza te iznimno velike poplave, slijedilo je nekoliko također značajnih, ali ipak manjih – iz 1972.g., 5.3.1974., u kolovozu 1975., te u noći s 5.-6.12.1992.

Najznačajnija poplava tijekom posljednjih tridesetak godina je poplava iz listopada 1993.g., koja je prva dokumentirana i improviziranim praćenjima kolebanja razine vode u ponderskoj zoni s pješačkog mosta Vršić s naknadno provedenim premjerom referentne točke s koje su se vršila odmjerenja (JVP istarskih slivova, 1993 a). Prema tim informacijama, na području cijele Istre dana 21.-22.10.1993. počinju padati velike količine oborina na već prethodno dobro saturirano tlo s vodom. Nove količine oborine koje su pale tijekom te kišne epizode iznosile su 120 – 200 mm što premašuje cjelokupni mjesečni prosjek palih oborina, a pale su na tlo s već slično tolikim količinama prethodno palih oborina. Tako je ukupna visina oborina za cjelokupni listopad na meteorološkoj postaji Pazin iznosila 313,4 mm. Rezultati tih oborina bili su katastrofalni vodni valovi i pojava velikih voda na povremenim izvorima i bujicama krških dijelova sliva na cjelokupnom prostoru Istre, a posebno na većim slivnim površinama na slivovima Mirne, Raše, Boljunčice i Pazinčice. Vodni val koji je bio formiran u gornjim dijelovima sliva Pazinčice, bujicama Lipa, Borutski i Rakov potok imao je rušilački karakter i izazvao je poplave nezabilježenih razmjera na ovom području. Na nizvodnijem dijelu vodni val je također bio izuzetnih razmjera, tako da je iščupao i odnio limnigraf Dubravica. Voda u Pazinskoj jami počela se je uzdizati vrlo brzo nakon pojave vodnog vala. Dne 22.10.1993. u 5:00 sati razina vode je iznosila 227,52 m n.m., a maksimalna razina od 235,89 m n.m. izmjerena je istoga dana u 21:00 sati. Drugoga dana, dne

23.10. u 12:00 sati razina vode bila je 234,93 m n.m., 24.10. u 12:00 sati 232,34 m n.m., a 25.10. u 12:00 sati 228,64 m n.m. Za napomenuti je da se radi o kotama izmjenjenim u tadašnjem referentnom Tršćanskom visinskom sustavu. Nakon poplave iz 2019.g., Hrvatske vode, VGO Rijeka provele su visinski premjer tragova te poplave, ali i rekonstrukciju dosegnute maksimalne razine poplave iz 1993.g. i procijenile da je bila značajnije niže – na koti 233,45 m n.m., iskazano u HVRS71 visinskom referentnom sustavu.

Nakon te iznimno velike poplave, zabilježeno je nekoliko manjih: 1998, 7.11.2000., 12.8.2002., 18.11.2002., 11.12.2008., 4.2.2009., 25.9.2010., 17.3.2011., 1.11.2012., 7.11.2014. i 21.12.2019.

Dana 3.2.2019., u vrijeme provedbe dopunskog monitoringa za potrebe predmetnog projekta, dogodila se posljednje značajnije poplavljanje Pazinske jame. U samo tri dana palo je 143 mm oborina na postaji Pazin te značajno podiglo razinu vode čiji je maksimum bio prema geodetskoj provjeri Hrvatskih voda 227,92 m n.m., a što se podudara i s rezultatima uspostavljenog dopunskog monitoringa razina vode u ponorskoj zoni.

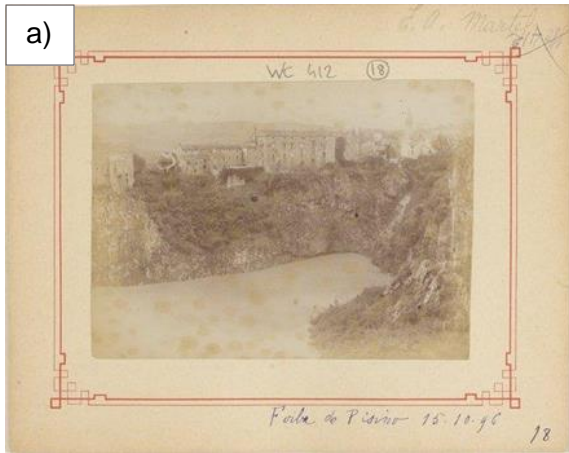
U tablici 3.5.5 dane su najveće zabilježene poplave Pazinske jame i iz sačuvanih informacija o njima maksimalne razine vode. Visine su dane u HVRS1875 („Trst“) visinskom sustavu. Za veliku vodu iz listopada 1993.g. korišten je podatak o maksimalnoj razini iz dokumenta JVP istarskih slivova (1993 a) iz razloga što su tragovi snimljeni neposredno nakon zabilježenog poplavljanja, pa su, kao i sjećanja svjedoka, bili svježiji u odnosu na snimku te situacije iz 2019. Na Slici 3.5.10 dan je prikaz poplavnih linija za tri najveće zabilježene poplave – iz 1986., 1964. i 1993. godine kao i za poplavu iz 2019. godine.

Na slici 3.5.9 prikazane su fotografije najvećih zabilježenih poplava kroz povijest Pazinske jame.

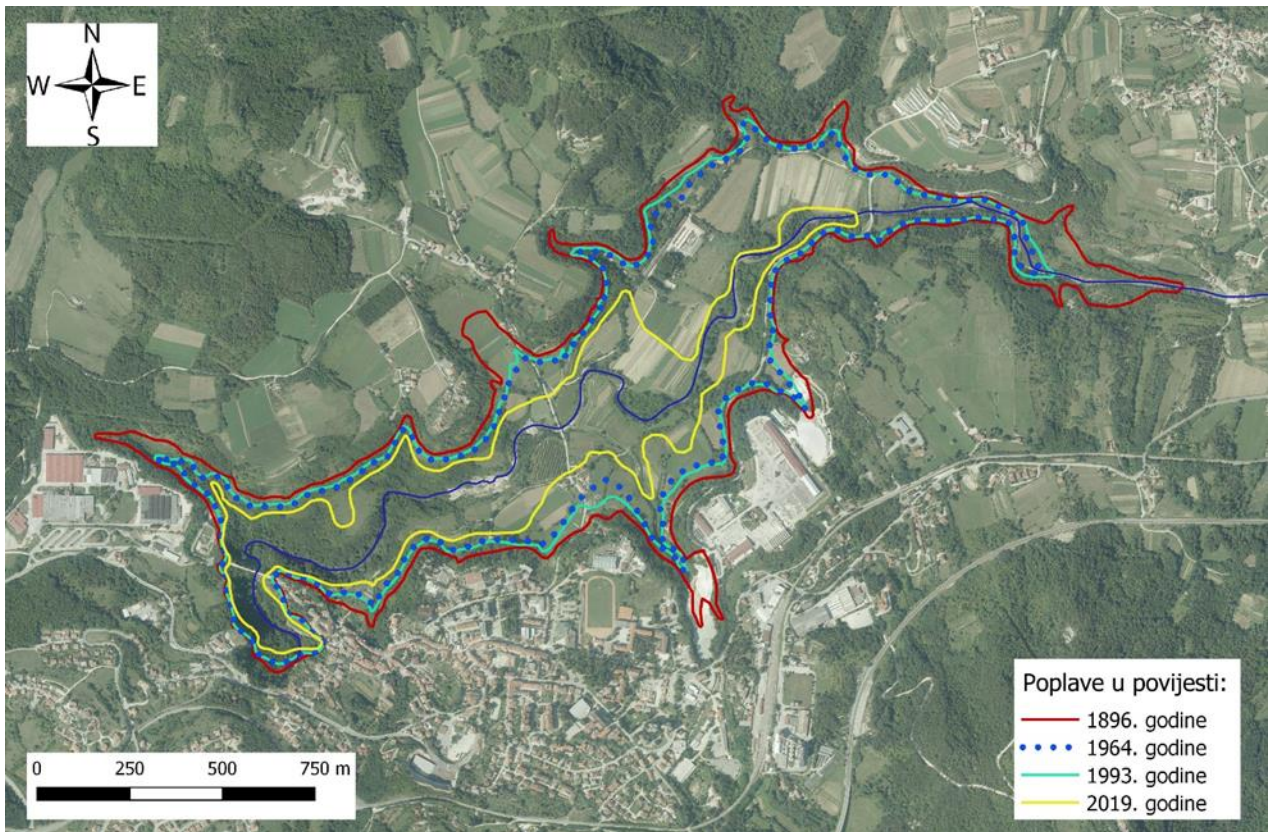
Tablica 3.5.5. Najveće zabilježene poplave Pazinske jame

Datum	Razina vode (m n.m.)	Maksimalna poplavna površina (km ²)	Maksimalni volumen vode (hm ³)
15.10.1896.	240	948.861,4	11,61
26.3.1928.	221	128.118,3	1,54
25.10.1964.	234	744.755,7	7,18
22.10.1993.	235,89	811.031,4	8,43
2.11.2012.	225	258.503,5	2,25
3.2.2019.	228,1*	473.296,2	3,82

* Visina iz HVRS71 (227,92 m n.m.) prebačena u „Trst“ visinski sustav



Slika 3.5.9. Najveće zabilježene poplave Pazinske jame: a) 15.10.1896., b) 26.3.1928., c) 25.10.1964., d) 22.10.1993., e) 2.11.2012. (<http://blog.dnevnik.hr/mojpotok>), f) 3.2.2019. (<https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/pogledajte-sto-je-golema-kolicina-vode-odnijela-u-pazincicu-i-pazinsku-jamu-foto-20190203>)



Slika 3.5.10. Najveće zabilježene poplave Pazinske jame

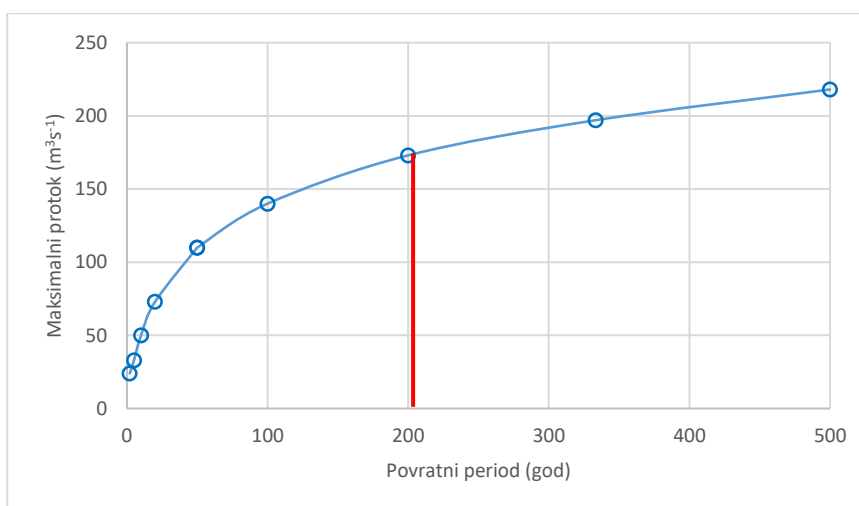
3.5.2.2. Probabilistička analiza osmotrenih maksimalnih protoka i volumena vodnih valova

Osmotreni maksimalni protoci

U tablici 3.5.6 dane su vjerojatnosti pojava/povratni period maksimalnih godišnjih protoka na hidrološkoj postaji Dubravica u razdoblju od 1972. do 2019. godine. Tijekom razdoblja motrenja, maksimalna zabilježen protok prema limnigrafskim podacima iznosio je 72,2 m³/s (kolovoz, 2002.), ali vrijedi napomenuti da je katastrofalni vodni val iz listopada 1993. bio značajnije veći i prema provedenim modeliranjima, u točki 3.6.2, maksimalni protok mu je određen s vrijednošću 176 m³s⁻¹. Stoga je i taj protok uvršten u provedenu probabilističku analizu, čiji su rezultati sadržani u tablici 3.5.6, kao i na slici 3.5.11.

Tablica 3.5.6. Vjerojatnost pojava/povratni period maksimalnih godišnjih protoka na hidrološkoj postaji Dubravica – Pazinčica za razdoblje od 1972. do 2019.

Zabilježeno		Proračunato		
		Povratni period (God)	Vjerojatnost pojave (%)	Proračunati maksimalni protoci (m ³ s ⁻¹)
Sr. vrijednost	32,8	2	50	24
St.dev.	23,4	5	20	33
Cv	0,72	10	10	50
Max	176	20	5	73
Min	12	50	2	110
		100	1	140
		200	0,5	173
		333	0,3	197
		500	0,2	218



Slika 3.5.11. Proračunate vjerojatnosti pojava maksimalnih protoka Pazinčice na hidrološkoj postaji Dubravica probabilističkim pristupom s markiranim maksimalnim protokom iz 1993.g.

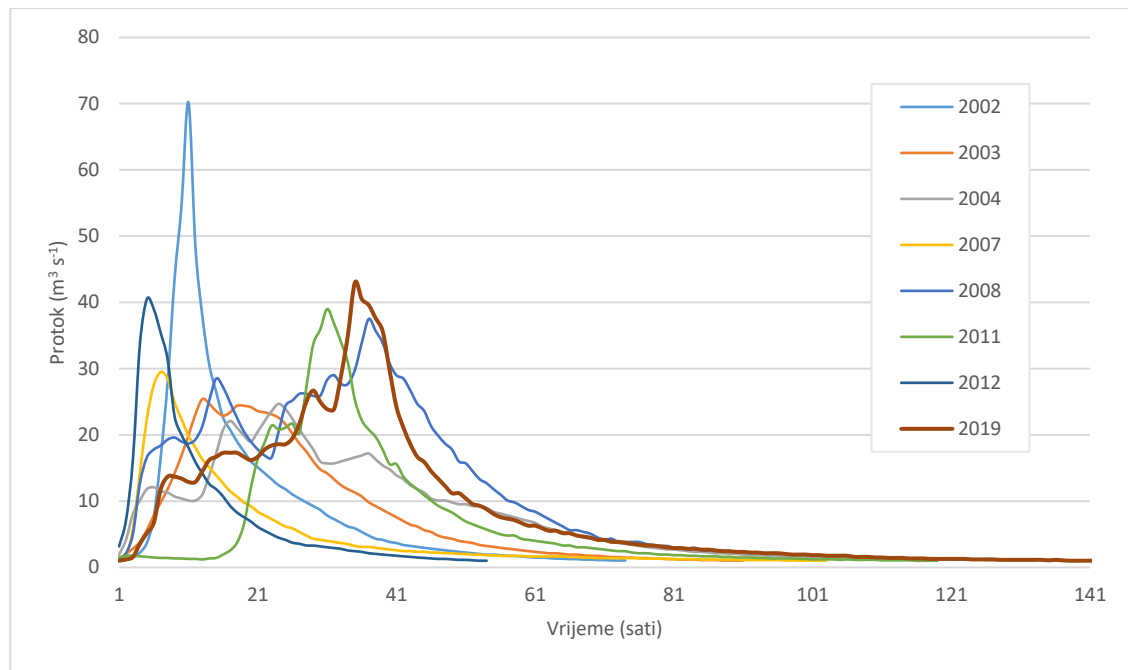
Osmotreni maksimalni volumeni

Provedena je i analiza oblika zapaženih hidrograma, pri čemu je na raspolaganju u bazi podataka DHMZ-a postojalo kraće raspoloživo razdoblje podataka o satnim protocima (2001.-2019.), no dovoljno dugo da se na 20 izdvojenih situacija s pojavom velikih voda uoče međuodnosi između karakterističnih elemenata hidrograma (Tablica 3.5.7). Prikaz zapaženih karakterističnih oblika vodnih valova dan je na Slici 3.5.12.

Tablica 3.5.7. Prikaz volumena i trajanja pojave velikih voda na hidrološkoj postaji Dubravica - Pazinčica u razdoblju od 2001. do 2019.

Godina	Maks. protok	Datum pojave maks. protoka	Volumen uzlazne grane	Volumen silazne grane	Ukupan volumen	Vrijeme podizanja vodnog vala	Vrijeme opadanja vodnog vala	Ukupno trajanje vodnog vala s protocima iznad $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ *
	(m^3s^{-1})		m^3	m^3	m^3	(sati)	(sati)	(sati)
2001	30	26.1.	318.247	2.767.140	3.085.387	6	176	182
2002	70,2	11.8.	703.802	1.842.012	2.545.814	11	63	74
2003	25,4	30.12.	476.026	2.246.976	2.723.002	13	78	91
2004	24,7	27.12.	1.210.862	2.363.508	3.574.370	24	109	133
2005	23,9	3.12.	272.522	1.959.012	2.231.534	8	136	144
2006	22,9	5.3.	257.940	1.381.968	1.639.908	7	97	104*
2007	29,5	13.2.	317.414	1.504.008	1.821.422	7	96	103
2008	37,5	12.12.	2.808.583	6.627.132	9.435.715	37	247	284
2009	41,3	25.12.	3.890.230	1.661.544	5.551.774	73	100	173
2010	37,5	21.11.	307.044	2.349.216	2.656.260	11	104	115*
2011	39	17.3.	1.101.542	1.844.802	2.946.344	31	88	119
2012	40,5	1.11.	291.150	1.326.942	1.618.092	5	49	54
2013	35,9	18.3.	714.758	2.275.470	2.990.228	19	183	202
2014	42,2	7.11.	1.162.166	2.642.598	3.804.764	22	86	108*
2014	39,3	17.11.	949.518	1.997.406	2.946.924	52	116	168*
2015	19,2	30.1.	178.506	2.115.018	2.293.524	6	235	241
2016	29,8	15.6.	515.689	928.710	1.444.399	12	58	70
2017	28,6	28.12.	482.454	1.837.548	2.320.002	10	94	104*
2018	25,6	1.1.	182.646	1.656.270	1.838.916	5	96	101*
2019	43	2.2.	2.057.742	2.315.034	4.372.776	35	115	150
SR	34,3		909.942	2.182.116	3.092.058	20	116	144
MAX	70,2		3.890.230	6.627.132	9.435.715	73	247	284
MIN	19,2		178.506	928.710	1.444.399	5	49	54

* Kod složenih vodnih valova, kao i kod nekih situacija prethodno veće saturiranosti sliva s vodom, nije uvijek mogao biti ispoštovan kriterij o graničnoj vrijednosti $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$



Slika 3.5.12. Prikaz zapaženih karakterističnih oblika vodnih valova

Vidljivo je da postoji vrlo širok raspon pojava maksimalnih protoka i volumena, koji međusobno uopće nisu zavisni – od analiziranih vodnih valova vodni val iz 2002. s vršnim protokom od $70,2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ imao je volumen od svega oko $2,5 \text{ mil. m}^3$, a vodni val s najvećim volumenom iz 2008., imao je maksimalni protok od svega $37,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. No, radilo se o složenom vodnom valu, formiranom na osnovu nekoliko uzastopnih kišnih epizoda. Naime, na oblik hidrograma vodnog vala, uz značajke oborinskog intenziteta koji su ga izazvali, u velikoj mjeri utječe i razdoblje godine u kome se je pojavio, odnosno stupanj prethodne zasićenosti terena s vodom. Vrlo brzo podizanje i spužtanje pika vodnog vala imaju vodni valovi koji su zapaženi tijekom ljetnog sušnog razdoblja ili neposredno nakon njega, kada i ne dolazi do aktivacije protjecanja iz dubljih slojeva terena, te su i volumeni vodnog vala relativno manji u odnosu na pale oborine koje su pak intenzivnije upravo tijekom tih razdoblja.

Provedena je i analiza maksimalnog volumena vodnih valova trajanja 1, 2, 3, 5, 7 i 10 dana (Tablica 3.5.8), kao i vjerojatnosti njihove pojave (Tablica 3.5.9, Slika 3.5.13), pri čemu su maksimalni volumeni određivani iz srednjih dnevnih protoka. Vjerojatnosti pojave računati su po GEV-funkciji raspodjele.

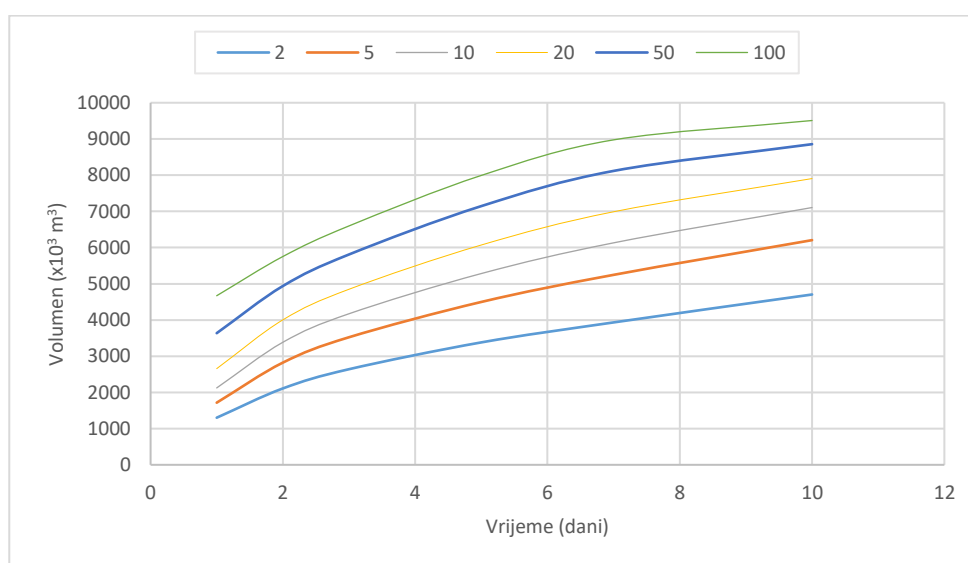
Vidljivo je da vodni valovi imaju naglašeni vršni protok, te se glavnina otjecanja odvija u nekoliko, obično 1 - 3 dana. Pri duljim trajanjima i rjeđim povratnim periodima se radi o volumenima koji višestruko premašuju volumene nižih dijelova ponorske zone Pazinčice, te stoga o kapacitetu ponora ovisi u kojoj će mjeri biti izraženo poplavlivanje.

Tablica 3.5.8. Značajke najvećih zabilježenih volumena vodnih valova trajanja 1, 2, 3, 5, 7 i 10 dana na postaji Dubravica – Pazinčica u razdoblju od 1972. do 2019.

Pokazatelj	Maksimalni sr. dnevni protok (m^3s^{-1})	Najveći volumeni tijekom uzastopnih dana s trajanjima velikih voda (m^3)					
		1 dan	2 dana	3 dana	5 dana	7 dana	10 dana
Sr	17,8	1.535.615	2.369.411	2.903.718	3.662.548	4.212.246	4.901.901
Stdev	11,3	977.722	1.151.765	1.294.251	1.439.858	1.575.116	1.717.279
Cv	0,637	0,637	0,486	0,446	0,393	0,374	0,350
Max	87,0	7.513.020	8.767.380	9.864.660	10.580.052	10.770.996	10.915.284
Min	8,56	739.584	1.040.256	1.202.688	1.642.464	1.764.115	1.852.157

Tablica 3.5.9. Vjerojatnosti pojave najvećih volumena vodnih valova trajanja 1, 2, 3, 5, 7 i 10 dana u razdoblju od 1972. do 2018.

Povratni period (god)	Vjerojatnost pojave (%)	Proračunati maksimalni volumeni vodnih valova različitih trajanja (m^3)					
		1 dan	2 dana	3 dana	5 dana	7 dana	10 dana
2	50	1.301.588	2.109.549	2.640.898	3.381.023	3.933.071	4.704.160
5	20	1.716.561	2.822.641	3.523.507	4.498.460	5.246.715	6.205.216
10	10	2.123.572	3.384.940	4.172.748	5.283.134	6.130.805	7.105.676
20	5	2.656.168	4.003.603	4.849.031	6.071.245	6.989.746	7.905.595
50	2	3.636.256	4.938.337	5.809.548	7.145.543	8.117.630	8.855.638
100	1	4.669.991	5.753.431	6.598.066	7.992.653	8.974.868	9.509.384



Slika 3.5.13. Vjerojatnosti pojave maksimalnih volumena vodnog vala trajanja 1-10 dana na postaji Dubravica - Pazinčica

3.5.2.3. Analiza maksimalnih protoka u slivu Pazinčice

Kako u slivu Pazinčice samo na jednoj, u prethodnom poglavlju 3.5.1 analiziranoj hidrološkoj postaji Dubravica – Pazinčica, postoje raspoloživi mjereni hidrološki podaci o vodostajima i protocima, za ocjenu stanja velikih voda u slivu Pazinčice provedene su obrade velikih voda na odabranim profilima koristeći dva načina:

- tradicionalni parametarski pristup procjeni maksimalnih/vršnih vrijednosti protoka na bazi međuodnosa kratkotrajnih jakih oborina izraženih u vidu HTP krivulja i otjecanja, a kako je provedeno u predmetnom poglavlju,
- modeliranjem cjelokupnog hidrograma otjecanja koristeći tzv. „projektni pljusak“, a što je za neke izdvojene profile na glavnom toku Pazinčice provedeno u poglavlju 3.6, gdje je opisana i primijenjena metodologija pri provedenim modeliranjima.

Metodologija proračuna vršnih vrijednosti protoka velikih voda

U ovom je poglavlju proračun vršnih/maksimalnih vrijednosti protoka proveden poznatom SCS (Soil Conservation Service) metodom određivanja efektivnih oborina, uz aproksimaciju hidrograma otjecanja zamjenjujućim trokutnim hidrogramom. Na temelju analize efektivnih oborina i definiranjem hidrograma otjecanja zamjenjujućim trokutom, maksimalne protoke su određene izrazom:

$$Q_{\max} = 0,278 \frac{2 * F * H_{ef}}{T_b}$$

gdje je:

- F - površina sliva (km²)
- H_{ef} - efektivna oborina (mm)
- T_b - vremenska osnova hidrograma
- 0,278 - koeficijent konverzije mjernih jedinica

Vremenska osnova definirana je iz dva dijela:

$$T_b = T_p + T_r \text{ (sati)}$$

gdje je:

T_p = vrijeme podizanja hidrograma (sati)

T_r = vrijeme retardacije hidrograma (sati)

Vrijeme podizanja hidrograma dano je po izrazu:

$$T_p = \frac{t_o}{2} + t_k$$

gdje je:

t_o - računsko trajanje oborina

t_k - vrijeme zakašnjenja (koncentracije) - odrediti će se po izrazu kojeg je dao Passini:

$$t_k = \frac{0,0045 * \sqrt[3]{F * L}}{\sqrt{i}} \quad (\text{dani})$$

gdje je:

L - maksimalna udaljenost dolaska vode (km)

i - srednji pad vodnih tokova u slivu - računa se prema izrazu:

$$\sqrt{i} = \frac{\sum L_i}{\sum \left(\frac{L_i}{\sqrt{i_i}} \right)} \quad i_i = \frac{\Delta H_i}{L_i}$$

gdje je:

ΔH_i - visinska razlika između najviše i najniže točke na i-tom vodnom toku

L_i - duljina i-tog vodnog toka

Računsko vrijeme trajanja oborina određeno je po izrazu Sokolovskog:

$$t_o = \frac{t_k}{(t_k + I)^{0,2}} \quad (\text{sati})$$

Vrijeme retardacije hidrograma - aproksimirajućeg trokuta utvrđuje se na osnovu analize oblika vodnih valova sličnih izučenih slivova, a izraženo je putem koef. k koji predstavlja odnos između vremena retardacije i vremena podizanja hidrograma.

Efektivne oborine (H_{ef}) određujemo iz mjerodavnih maksimalnih oborina korištenjem za analizirani sliv karakteristične CN - krivulje koje odražavaju tzv. hidrološki zemljišno-biljni kompleks. Broj karakteristične CN krivulje određuje se na osnovu nekoliko načina:

- Pomoću razrađenih tablica – npr. u domaćoj literaturi (Bonacci i Roglić, 1985 – objavljeno u Priručniku za hidrotehničke melioracije – Knj. 3 – I kolo) a koje uvažavaju geološko-pedološka svojstva tla, korištenje zemljišta i zemljišni pokrov,

- Hidrološkom analizom međudnosa palih i efektivnih oborina korištenjem osmotrenih hidroloških podataka sa izučavanog sliva,

- Analogijom s hidrološkim analizama međudnosa palih i efektivnih oborina sa širih regionalnih prostora.

Visine mjerodavnih maksimalnih oborina određene su preko HTP funkcije, za utvrđena računska trajanja oborina, iterativno ih varirajući od $t_0/2$ do $(n \times t_0/2)$, tj. do vrijednosti kada dobivamo kritični slučaj - maksimalnu ordinatu otjecaja. Sam je proračun proveden korištenjem računarskog programa MAXQ. Proračunate vrijednosti maksimalnih protoka dane su za provedene proračune s uvjetom prethodno prosječnog stanja zasićenosti tla s vodom iz razloga što se najveće kratkotrajne jake oborine u slivu Pazinčice javljaju u dijelu godine kada nisu prisutne dugotrajne prethodne oborine, pa ni njima nije niti dobro saturirano tlo s vodom.

Ulazni podaci i rezultati proračuna

Dio ulaznih podataka za provedeni proračun (površine slivova, elementi proračuna vremena koncentracije kao i samo vrijeme koncentracije, elementi određivanja karakterističnih CN krivulje) sadržan je u poglavlju 3.3, a na Slici 3.7 dan je prikaz položaja analiziranih hidroloških profila. Značajke HTP krivulja sadržane su poglavlju 3.1.1, pri čemu je za većinu hidroloških profila kao mjerodavna usvojena postaja Grdinići i njene HTP krivulje. To je iz razloga što se radi o postaji koja je na nešto većoj nadmorskoj visini bližoj glavnini nadmorskim visinama većine ostalih slivova, a spomenuta postaja ima izraženije oborinske intenzitete pa je onda njenim korištenjem veća razina sigurnosti. Koeficijenti oblika vodnog vala usvojeni su s vrijednošću 1 za sve slivove čija je površina manja od 10 km², s vrijednošću 1,1 za sve slivove čija je površina između 10 i 50 km², te s vrijednošću 1,2 za veće slivova. U Tablici 3.5.10 dan je prikaz osnovnih ulaznih parametara kao i rezultata proračuna za karakteristične velike vode 100 i 20-godišnjeg povratnog perioda. Uz to, dan je i prikaz rezultirajućih specifičnih protoka velikih voda.

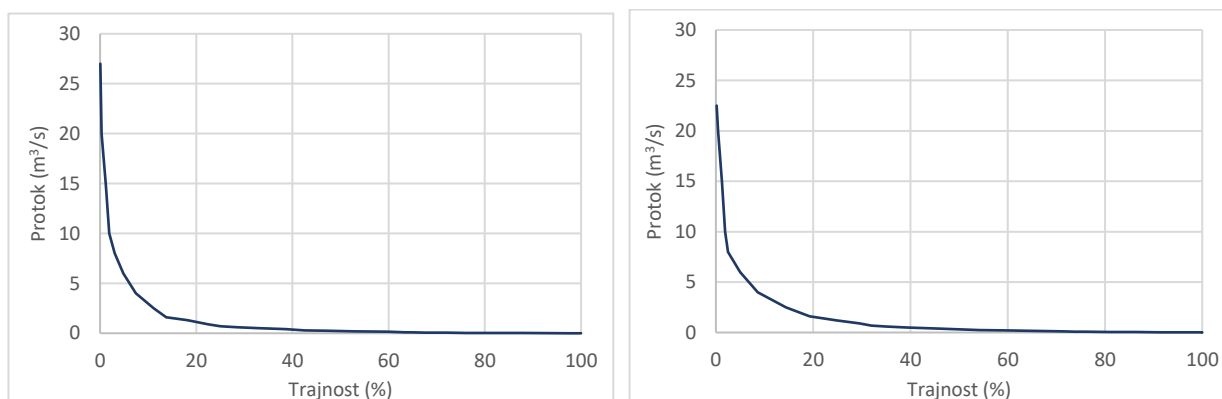
Tablica 3.5.10. Rezultati proračuna velikih voda parametarskim pristupom

Profil	CN	k	F (km ²)	Proračunati protoci			
				Q ₁₀₀ (m ³ s ⁻¹)	Q ₁₀₀ (m ³ s ⁻¹ /km ²)	Q ₂₀ (m ³ s ⁻¹)	Q ₂₀ (m ³ s ⁻¹ /km ²)
profil 5b	57,3	1,1	10,69	65	6,08	16	1,50
profil 5a	58,8	1,1	15,47	78	5,04	22	1,42
profil 6b	57,2	1	4,13	39	9,44	9	2,18
profil 6a	57,7	1	7,39	46	6,22	12	1,62
profil 5	58,4	1,1	22,86	105	4,59	30	1,31
profil 7b	56,0	1	4,58	29	7	7	1,53
profil 7a	57,1	1,1	11,27	50	14	14	1,24
profil 4	58,5	1	34,79	138	41	41	1,18
profil 3	58,6	1,1	43,03	153	3,56	47	1,09
profil 8a	56,4	1	3,74	32	8,56	6	1,60
profil 9a	57,8	1	4,25	37	8,71	9	2,12
profil 2	58,7	1,2	59,22	190	3,21	60	1,01
profil 10a	56,4	1	3,30	10	3,03	5	1,52
profil 1	59,1	1,2	77,37	232	3,00	75	0,97

Vidljivo je da se proračunate vrijednosti maksimalnih protoka kreću u vrlo širokom rasponu – ovisno o položaju hidrološkog profila i veličine njegova sliva. Kod profila 2 koji odgovara profilu hidrološke postaje Dubravica na Pazinčici dobivena vrijednost 100-godišnje maksimalne protoke od $190 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ po danoj metodi proračuna parametarskim pristupom značajnije je veća od istovrsne vrijednosti proračunate probabilističkom analizom (točka 3.5.2.2) gdje je ona proračunata sa $140 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Kod 20-godišnjeg povratnog perioda je obrnuta situacija, gdje je po parametarskom pristupu izračunat vršni protok od $60 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a po probabilističkom $73 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Razlog tim odstupanjima je ne samo u različitim metodološkim pristupima, nego i u duljinama raspoloživih nizova podataka, koji su kod danog parametarskog pristupa bili dulji. Konačne preporuke o načinu izbora proračunatih vrijednosti dane su u poglavlju 3.6.3 nakon provedenih modelskih sagledavanja cjelokupnog hidrograma otjecanja.

3.5.3. Srednje vode

U poglavlju 3.5.1 dan je prikaz karakterističnih srednjih mjesečnih i godišnjih protoka, te osnovnih statističkih pokazatelja za hidrološku postaju Dubravica – Pazinčica. Provedene su i analize trajanja srednjih dnevnih protoka za tu postaju. Analiza je provedena za dva karakteristična razdoblja – cjelokupno raspoloživo i tijekom 2018. i 2019., kad je proveden i dopunski hidrološki monitoring u okviru predmetnog projekta (Slika 3.5.14). Cjelovito razdoblje opažanja odnosi se na razdoblje od 1972. do rujna 2019. godine (na kome su se srednji dnevni protoci kretali u rasponu između $26,8$ i $0 \text{ m}^3/\text{s}$, s prosjekom od $0,80 \text{ m}^3/\text{s}$), a drugo je analizirano razdoblje monitoringa od 2018. do rujna 2019. godine (na kome su se srednji dnevni protoci kretali u rasponu između $22,3$ i $0,006 \text{ m}^3/\text{s}$, s prosjekom od $0,92 \text{ m}^3/\text{s}$). I iz usporedbe srednjih protoka vidljivo je da je razdoblje monitoringa nešto malo vodnije nego cjelokupno razdoblje, a to se vidi i na krivuljama trajnosti - npr. 50%-tnoj trajnosti protoka odgovara protoka $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$, 80%-tnoj $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$, a 95%-tnoj $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$. Nasuprot tome, za cjelovito analizirano razdoblje, odgovarajuće vrijednosti protoka iznose $Q50\%=0,2 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q80\%=0,03 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q95\%=0,01 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 3.5.14. Krivulja trajnosti protoka za hidrološku postaju Dubravica u razdoblju od 1972. do rujna 2019. (lijevo) i od 2018. do rujna 2019. (desno)

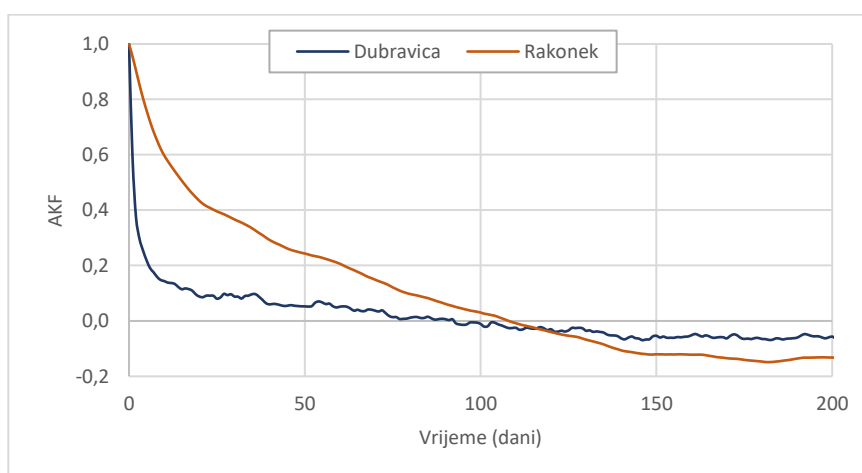
Provedene su i analize vjerojatnosti pojava srednjih godišnjih protoka u smjeru ocjene njihovih najveći i najmanjih vrijednosti, pri čemu su korišteni podaci s hidrološke postaje Dubravica u razdoblju od 1972. do 2018. godine (Tablica 3.5.11).

Tablica 3.5.11. Vjerojatnost pojava/povratni period srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj postaji Dubravica za razdoblje od 1972. do 2018.

Razdioba		Srednje godišnje protoke (m ³ /s)	
		GEV	GEV
Povratni period (God)	Vjerojatnost pojave (%)	Vjerojatnost u smjeru pojave najmanjih vrijednosti	Vjerojatnost u smjeru pojave najvećih vrijednosti
2	50	0,777	0,777
5	20	0,553	1,04
10	10	0,448	1,18
20	5	0,367	1,31
50	2	0,282	1,45
100	1	0,227	1,54

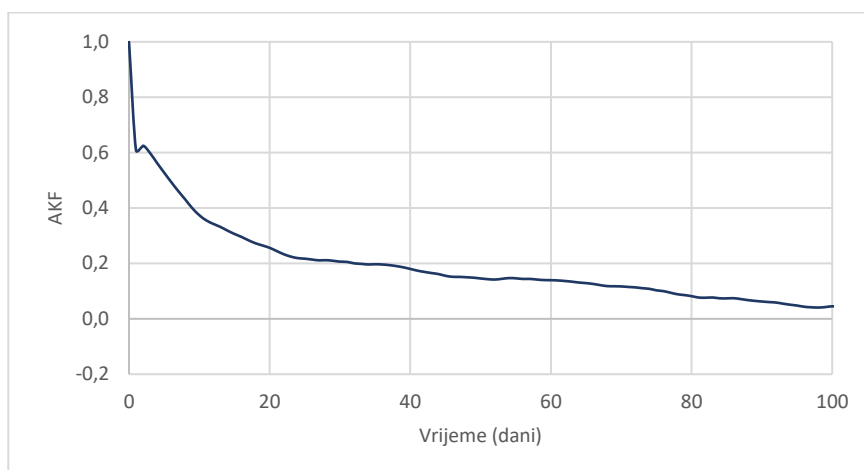
Provedene su analize autokorelacijskih funkcija (AKF) srednjih dnevnih protoka na spomenutoj hidrološkoj postaji Dubravica za razdoblje od 1972. do 2018. (Slika 3.5.15). Ukoliko se kao razinu značajnosti postojanja autokorelacijske zavisnosti uzme vrijednost 0,2 (Mangin, 1984), vidljivo je da razdoblje u kojem je vrijednost AKF veća od 0,2 traje svega 5 dana. To je uvjetovano time što Pazinčica vrlo brzo reagira na promjene hidroloških prilika u njenom slivu.

Radi usporedbe, na spomenutoj slici s autokorelacijskom funkcijom Pazinčice dana je i autokorelacijska funkcija izvora Rakonek, čije se vodonosnik dijelom prihranjuje s vodama Pazinčice. Vidljivo je da spomenuti izvor pokazuje puno dulju međuovisnost o prethodnom stanju hidroloških prilika – čak 61 dana.



Slika 3.5.15. Autokorelacijska funkcija na hidrološkoj postaji Dubravica i Rakonek (1972. – 2018.)

Također provedena je i kroskorelacijska analiza između srednjih dnevnih protoka Pazinčice i izvora Rakonek (Slika 3.5.16).



Slika 3.5.16. Kroskorelacijska funkcija između srednjih dnevnih protoka na hidrološkim postajama Dubravica i Rakonek (1972. – 2018.)

Rezultati provedenih simultanih vodomjerenja, prikazani u poglavlju 2.3.1 pokazali su da u slivu Pazinčice postoje stabilni hidrološki međudnosi u ukupnim udjelima u dotocima Pazinčice. Obzirom da ne postoji kontinuirani hidrološki monitoringa na niti jednoj drugoj hidrološkoj postaji, prosječni mjesečni i godišnji protoci na karakterističnim profilima u slivu Pazinčice aproksimirani su na osnovu podataka s postaje Dubravica Pazinčica, pri čemu su korišteni redukcijски koeficijenti definirani na osnovi omjera pripadajućih slivova (Tablica 3.5.12).

Tablica 3.5.12. Prikaz generiranih srednjih mjesečnih i godišnjih protoka u slivu Pazinčice (1972.-2018.)

Oznaka profila	Površina sliva (km ²)	Protok (m ³ s ⁻¹)												Sr God
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	77,37	1,71	1,77	1,48	1,31	0,789	0,415	0,102	0,150	0,310	0,918	1,86	1,80	1,05
2	59,22	1,31	1,35	1,13	1,01	0,604	0,318	0,078	0,115	0,237	0,703	1,42	1,38	0,805
3	43,03	0,951	0,984	0,821	0,731	0,439	0,231	0,057	0,083	0,172	0,511	1,035	1,003	0,585
4	34,79	0,769	0,796	0,663	0,591	0,355	0,187	0,046	0,067	0,139	0,413	0,836	0,811	0,473
5	22,6	0,500	0,517	0,431	0,384	0,230	0,121	0,030	0,044	0,090	0,268	0,543	0,527	0,307
5a	15,47	0,342	0,354	0,295	0,263	0,158	0,083	0,020	0,030	0,062	0,184	0,372	0,361	0,210
6a	7,39	0,163	0,169	0,141	0,126	0,075	0,040	0,010	0,014	0,030	0,088	0,178	0,172	0,100
6b	4,13	0,091	0,094	0,079	0,070	0,042	0,022	0,005	0,008	0,017	0,049	0,099	0,096	0,056
7a	11,27	0,249	0,258	0,215	0,191	0,115	0,060	0,015	0,022	0,045	0,134	0,271	0,263	0,153
7b	4,58	0,101	0,105	0,087	0,078	0,047	0,025	0,006	0,009	0,018	0,054	0,110	0,107	0,062
8a	6,94	0,153	0,159	0,132	0,118	0,071	0,037	0,009	0,013	0,028	0,082	0,167	0,162	0,094
9a	4,25	0,094	0,097	0,081	0,072	0,043	0,023	0,006	0,008	0,017	0,050	0,102	0,099	0,058
10a	3,3	0,073	0,075	0,063	0,056	0,034	0,018	0,004	0,006	0,013	0,039	0,079	0,077	0,045

3.5.4. Male vode

U poglavlju 3.5.1 dani su i karakteristični mjesečni i godišnji pokazatelji pojave najmanjih mjesečnih i godišnjih protoka. U okviru ovoga poglavlja izdvojena su, prema odabranim trajanjima (7, 15, 30, 60 i 90 dana), razdoblja s pojavama malih voda na postaji Dubravica – Pazinčica za razdoblje od 1972. do 2019., a čiji su sumarni pokazatelji dani u tablici 3.5.13. Za navedena trajanja provedene su i analize vjerojatnosti pojave minimalnih protoka, čiji su rezultati sadržani u tablici 3.5.14.

Tablica 3.5.13. Analiza trajanja malih voda 7, 15, 30, 60 i 90 dana na hidrološkoj postaji Dubravica – Pazinčica za razdoblje (1972. – 2019.)

Značajke osmotrenih nizova podataka o protocima (m ³ s ⁻¹)					
Pokazatelj	7 dana	15 dana	30 dana	60 dana	90 dana
Sr	0,006	0,009	0,017	0,037	0,060
Stdev	0,007	0,011	0,027	0,045	0,062
Cv	1,15	1,23	1,60	1,22	1,04
Max	0,039	0,066	0,139	0,176	0,209
Min	0	0	0	0	0,001

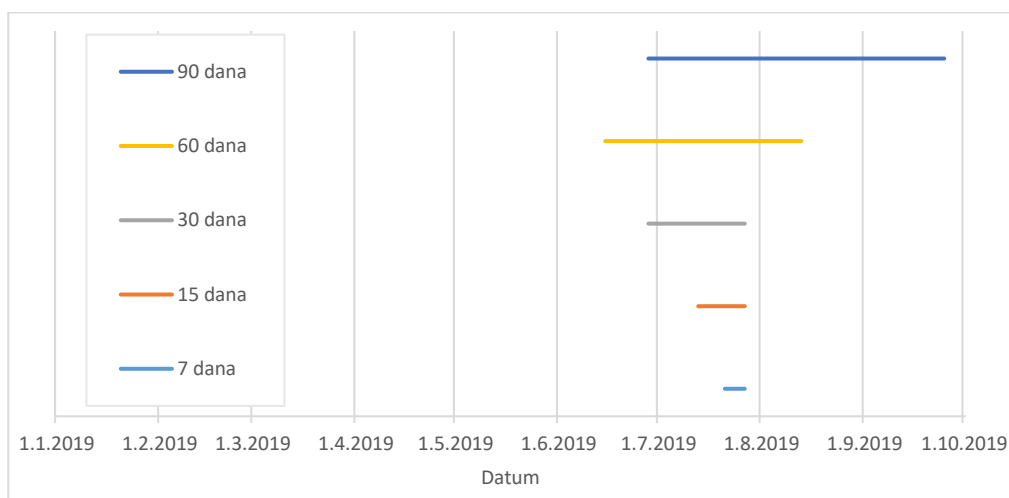
Tablica 3.5.14. Vjerojatnost pojava/povratni period trajanja malih voda (7, 15, 30, 60 i 90 dana) na hidrološkoj postaji Dubravica u razdoblju od 1972. – 2018.

Povratni period (god)	Vjerojatnost pojave (%)	Proračunate vjerojatnosti pojave najmanjih protoka (m ³ s ⁻¹)				
		7 dana	15 dana	30 dana	60 dana	90 dana
2	50	0,004	0,006	0,009	0,021	0,04
5	20	0,001	0,002	0,003	0,006	0,012
10	10	0	0	0,001	0,001	0,002
20	5	0	0	0	0	0
50	2	0	0	0	0	0
100	1	0	0	0	0	0

Uz provedene analize malih voda vezano uz cjelokupno razdoblje monitoringa, provedene su i analize pojavnosti malih voda tijekom razdoblja provedenog dopunskog monitoringa od 2018. do rujna 2019., a čiji su rezultati sadržani u Tablici 3.5.15, kao i na Slici 3.5.17. Iz nje je vidljivo da su tijekom razdoblja provedbe monitoringa male vode imale uobičajeni hod – najsušniji je razdoblje bilo tijekom srpnja i kolovoza,

Tablica 3.5.15. Analiza pojavnosti malih voda (7, 15, 30, 60 i 90 dana) na hidrološkoj postaji Dubravica za razdoblje od 2018. do rujna 2019.

Razdoblje malih voda	Q min	Razdoblje
min 7 dana	0,007	21.7.2019. - 27.7.2019.
min 15 dana	0,009	13.7.2019. - 27.7.2019.
min 30 dana	0,014	28.6.2019. - 27.7.2019.
min 60 dana	0,054	15.6.2019. - 13.8.2019.
min 90 dana	0,074	28.6.2019. - 25.9.2019.

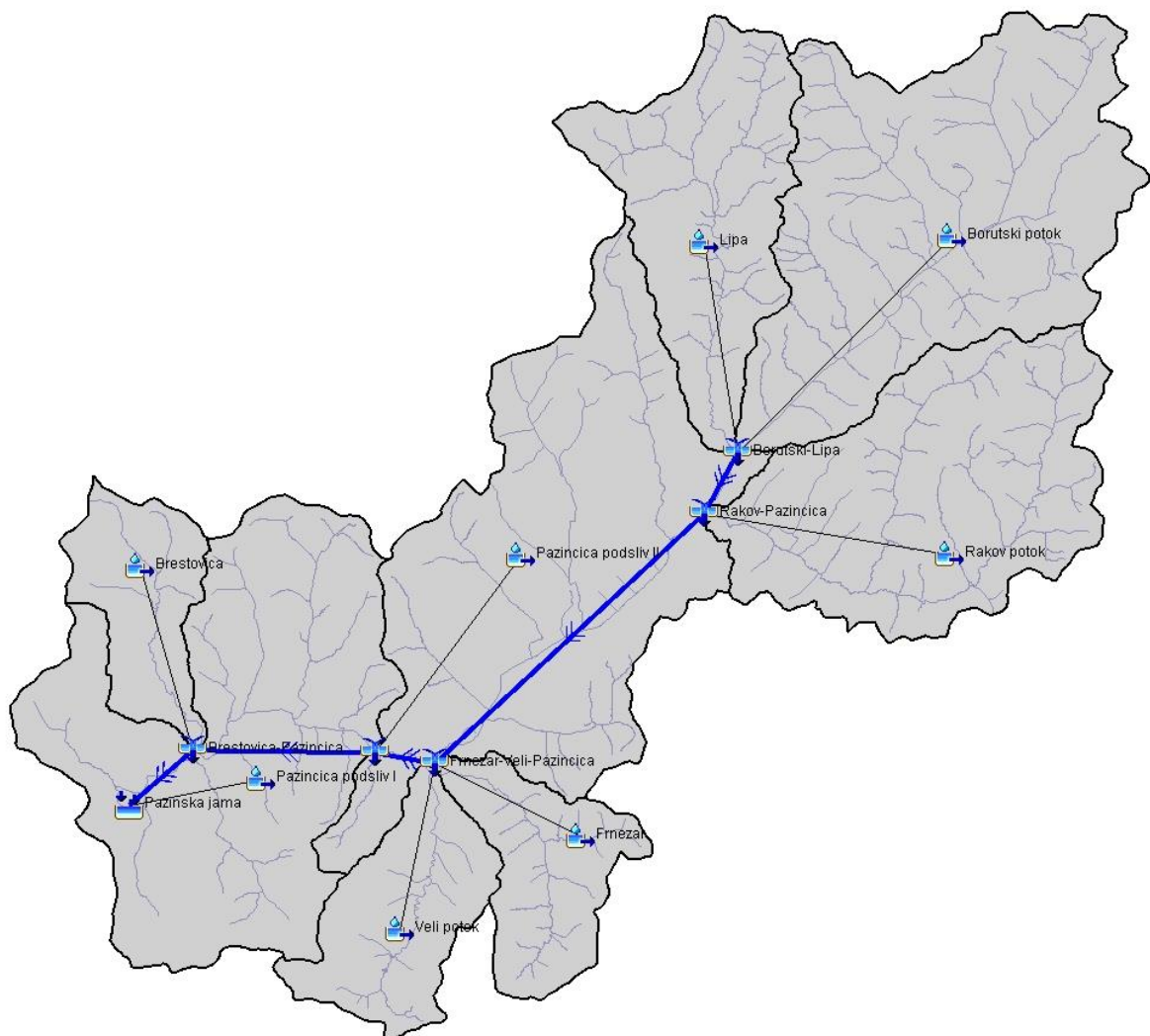


Slika 3.5.17. Prikaz pojavnosti malih voda (7, 15, 30, 60 i 90 dana) na hidrološkoj postaji Dubravica za razdoblje od 2018. do rujna 2019.

3.6. Modeliranje pojava velikih voda u slivu Pazinčice

3.6.1. Metodološke postavke provedenih modeliranja velikih voda

Modeliranje pojava velikih voda u slivu Pazinčice provedeno je pomoću hidrološkog modela The Hydrologic Modeling System (HEC-HMS 4.5) (Feldman, 2000), koji se već dugi niz godina koristi u svrhe različitih hidroloških analiza. Hidrološki model izrađen je na osnovu hidrografskih značajki toka i sliva Pazinčice, prikazanih u poglavlju 3.3. Pritom, sliv je podijeljen na osam podslivova međusobno spojenih glavnim koritom Pazinčice. Hidrološka shema modela izrađenog u HEC-HMS programu prikazana je na Slici 3.6.1.



Slika 3.6.1. Hidrološka shema sliva Pazinčice izrađena u programu HEC-HMS 4.5

Svaki podsliv definiran je ukupnom površinom i geografskim položajem težišta sliva. Gubici oborine uslijed akumulacije i infiltracije vode u podlogu opisani su SCS metodom (USDA, 2004), odnosno odgovarajućim CN brojevima krivulje. Analiza brojeva krivulje otjecanja na slivu Pazinčice prikazana je u poglavlju 3.3, a u Tablici 3.6.1 prikazuju se sumarni rezultati CN brojeva i udjela nepropusnih površina po podslivovima za tri različita stanja zasićenosti podloge (ARC I za slabo zasićenu podlogu, ARC II za prosječno stanje zasićenosti te ARC III za dobro zasićenu podlogu).

Tablica 3.6.1 Sumarni prikaz površina, prosječnog CN broja te udjela nepropusnih površina za sve podslivove definirane u programu HEC-HMS 4.5.

Podsliv	Površina sliva (km ²)	Prosječni CN broj (ARC I)	Prosječni CN broj (ARC II)	Prosječni CN broj (ARC III)	Udio nepropusnih površina (%)
Borutski potok	15,47	52,8	71,6	86,1	2,1
Lipa	7,39	52,8	71,5	86,0	1,1
Rakov potok	11,27	52,2	71,1	85,7	1,4
Veli potok	4,25	52,9	71,6	86,1	1,1
Frnežar	3,74	51,8	70,7	85,5	0,3
Pazinčica - podsliv II	17,09	54,1	72,6	86,7	3,5
Brestovica	3,30	52,2	71,0	85,7	0,7
Pazinčica - podsliv I	14,84	53,9	72,4	86,5	6,4
UKUPNO	77,35	53,1	71,8	86,2	2,8

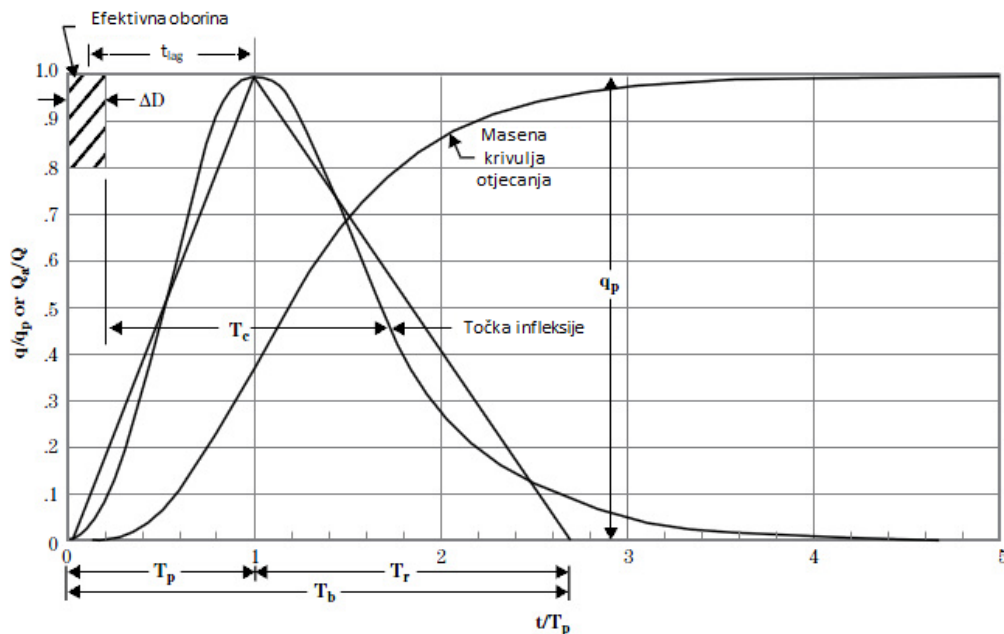
Hidrogram otjecanja sa svakog podsliva računa se prema SCS metodi jediničnog hidrograma (Slika 3.6.2). Prema SCS metodi jediničnog hidrograma vršni protok i vrijeme vršnog protoka međusobno su zavisni i mogu se izraziti pomoću sljedećeg izraza (USDA, 2004):

$$q_p = \frac{CAP}{T_p}$$

gdje je q_p vršni protok, C koeficijent oblika hidrograma, P količina oborine te T_p vrijeme izdizanja hidrograma, koje se određuje prema izrazu (USDA, 2004):

$$T_p = \frac{\Delta D}{2} + t_{lag}$$

gdje je ΔD trajanje efektivne oborine, a t_{lag} vrijeme zakašnjenja sliva (udaljenost centra mase hijetograma i vršnog protoka hidrograma).



Slika 3.6.2 Skica SCS bezdimenzionalnog jediničnog hidrograma (prema USDA, 2004)

Za potpuno definiranje hidrograma otjecanja, pored površine podsliva, potrebno je definirati i vrijeme zakašnjenja sliva t_{lag} te koeficijent oblika hidrograma C . Prema preporukama SCS metode, vrijeme zakašnjenja t_{lag} na neizučnim slivovima može se procijeniti s obzirom na vrijeme koncentracije sliva t_c prema izrazu (USDA, 2004.):

$$t_{lag} = 0,6t_c$$

gdje se vrijeme koncentracije sliva izraženog u satima (h) može odrediti prema SCS metodi (USDA, 2004.):

$$t_c = \frac{L^{0,8}(S + 1)^{0,7}}{145I^{0,5}}$$

ili direktno prema Passiniju (Salimi i sur., 2017):

$$t_{lag} = 0,108 \frac{(AL)^{1/3}}{I^{0,5}}$$

gdje je A površina sliva (km^2), L maksimalna duljina toka vode (km), S maksimalna potencijalna zadržana oborina (mm), I prosječni nagib sliva (m/m). U Tablici 3.6.2 prikazani su svi parametri i izračunate vrijednosti zakašnjenja po podslivovima. Treba napomenuti kako teoretski vrijeme zakašnjenja sliva prema SCS metodi ovisi ne samo o pokrovu zemljišta izraženom preko CN brojeva krivulje, već i o uvjetima zasićenosti podloge. U tom smislu, može se primijetiti kako vrijeme zakašnjenja prema Passiniju približno odgovara vremenu zakašnjenja prema SCS metodi za prosječne uvjete zasićenosti podloge (ARC II).

Tablica 3.6.2 Prikaz određenih parametara i vremena zakašnjenja po podslivovima prema dvije različite metode

Podsliv	A (km ²)	L _{max} (km)	I _{sr} (m/m)	t _{lag} Passini (h)	t _{lag} SCS ARC I (h)	t _{lag} SCS ARC II (h)	t _{lag} SCS ARC III (h)
Borutski potok	15,47	7,32	0,0249	3,31	5,77	3,28	1,76
Lipa	7,39	6,24	0,0298	2,24	4,64	2,65	1,43
Rakov potok	11,27	8,05	0,0171	3,71	7,63	4,34	2,35
Veli potok	4,25	5,06	0,0552	1,28	2,87	1,64	0,88
Frnežar	3,74	4,12	0,0509	1,19	2,62	1,49	0,81
Pazinčica - podsliv II	17,09	9,42	0,0152	4,77	8,71	4,96	2,67
Brestovica	3,30	4,03	0,0569	1,07	2,41	1,37	0,74
Pazinčica - podsliv I	14,84	6,43	0,041	2,44	3,93	2,24	1,21

Pored proračuna hidrograma otjecanja sa podslivova, definiran je i proces deformacije vodnih valova duž korita Pazinčice. Navedeni proces opisan je Muskingum-Cunge metodom (Cunge, 1969, Ponce i Yevjevich, 1978), a vodotok Pazinčice podijeljen je na pet dionica. U Tablici 3.6.3 opisani su fizikalni parametri za svih pet dionica, odnosno njezine duljine vodotoka, maksimalne i minimalne nadmorske visine, visinska razlika, maksimalni nagib korita te Manningov koeficijent hrapavosti. Pored navedenih karakteristika, treba napomenuti da je radi pojednostavljenja proračuna, korito Pazinčice opisano trapeznim poprečnim presjekom, prosječne širine 10 m, s nagibom bočnih stranica 1:1.

Tablica 3.6.3 Prikaz fizikalnih karakteristika različitih dionica vodotoka Pazinčice za proračun transformacije vodnih valova.

Dionica vodotoka	L	H _{max}	H _{min}	dH	S	n
	(m)	(m n.m.)	(m n.m.)	(m)	(m/m)	(s m ^{-1/3})
Pazinska jama – utok Brestovice	1712	223	180	43	0,0251	0,04
Utok Brestovice – Dubravica	2801	250	223	27	0,0095	0,04
Dubravica – utok Frnežara	691	253	250	3	0,0050	0,04
Utok Frnežara - utok Rakovog potoka	4702	271	253	18	0,0037	0,04
Utok Rakovog Potoka – spoj Lipe i Borutskog potoka	863	272	271	1,7	0,0020	0,04

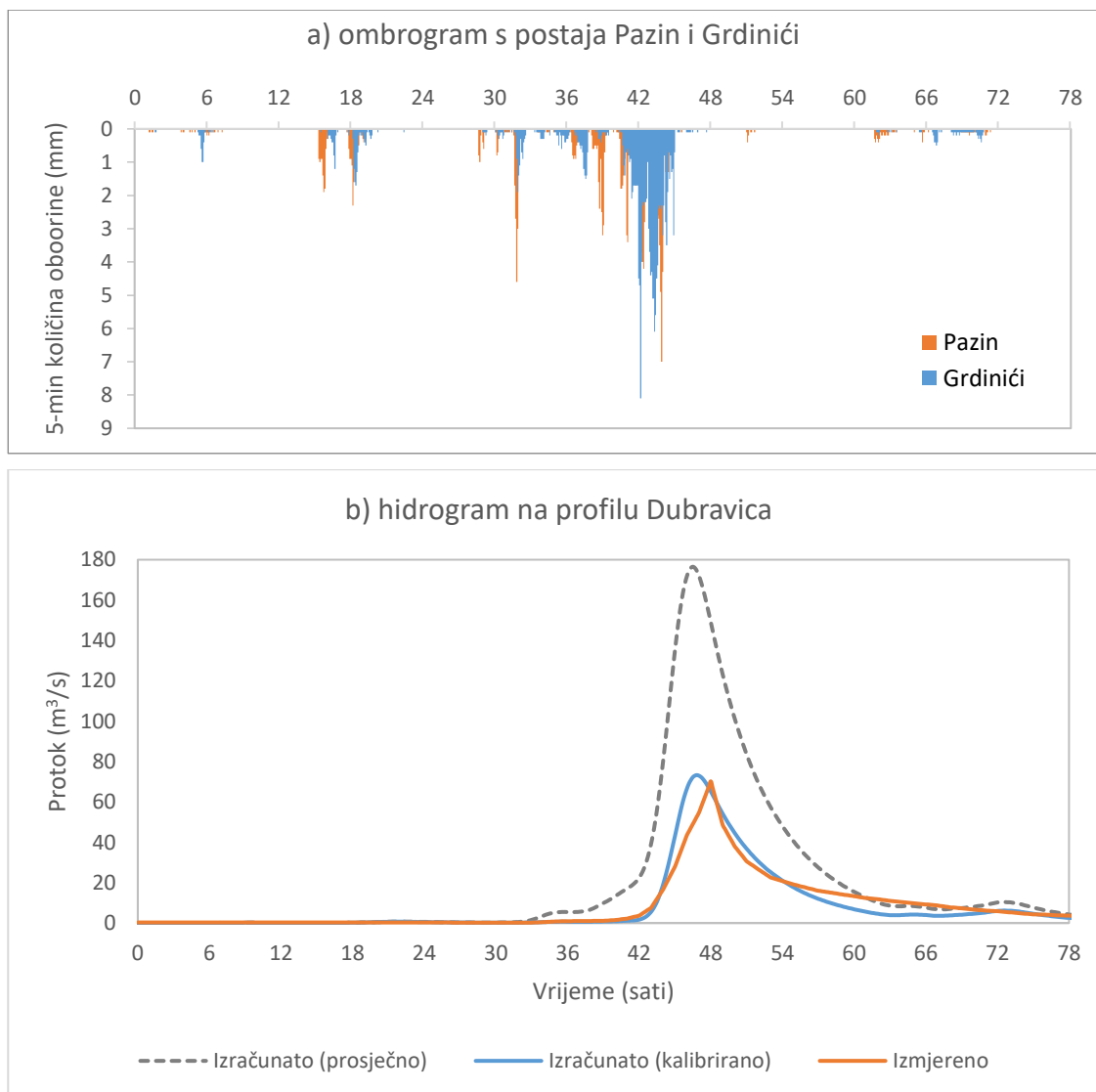
Oborine su u modelu zadane sa dvije ombrografske postaje – Pazin i Grdinići – a prostorna raspodjela oborina po podslivovima (s obzirom na koordinate težišta podsliva) provedena je metodom *Inverse Distance Weighting* (IDW).

3.6.2. Modeliranje povijesno zabilježenih vodnih valova na profilu Dubravica

Modeliranje povijesno zabilježenih velikih vodnih valova na profilu Dubravica provedeno je prvenstveno radi kalibriranja i validacije hidrološkog modela. U tu svrhu korištene su raspoložive satne vrijednosti protoka na profilu Dubravica zabilježene u razdoblju od 2000. do 2016. godine te 5-min podaci o oborinama s ombrografskih postaja Pazin i Grdinići. Odabrano je šest velikih vodnih valova u kojima je zabilježen vršni protok veći od $30 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, odnosno za sve velike vodne valove čiji maksimalni protok prelazi prosječnu vrijednost. Treba napomenuti kako je u periodu od 2000. do 2016. godine zabilježeno i više od šest vodnih valova u kojima je protok bio veći od $30 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, međutim zbog nedostatka ili nepouzdanosti ombrografskih podataka ti slučajevi nisu uzeti u daljnju analizu.

Postupak kalibracije proveden je na način da je u prvom koraku proveden hidrološki proračun protoka na profilu Dubravica za srednje stanje zasićenosti (CN brojevi za ARC II), nakon čega su uspoređeni izračunati i izmjereni volumeni hidrograma, ako i efektivna oborina te je iterativno korigiran prosječni CN broj. Nakon što je određen odgovarajući CN broj, također je iterativno određen optimalan oblik hidrograma, odnosno koeficijent oblika hidrograma C . Usporedbom s izmjerenim rezultatima, pokazalo se da vremena zakašnjenja prema Passiniju (Tablica 3.6.2) u kombinaciji s oblikom jediničnog hidrograma Delmarva (PRF 284) najbolje odgovara izmjerenim vrijednostima, zbog čega su navedena vremena i oblik hidrograma usvojeni za daljnje analize.

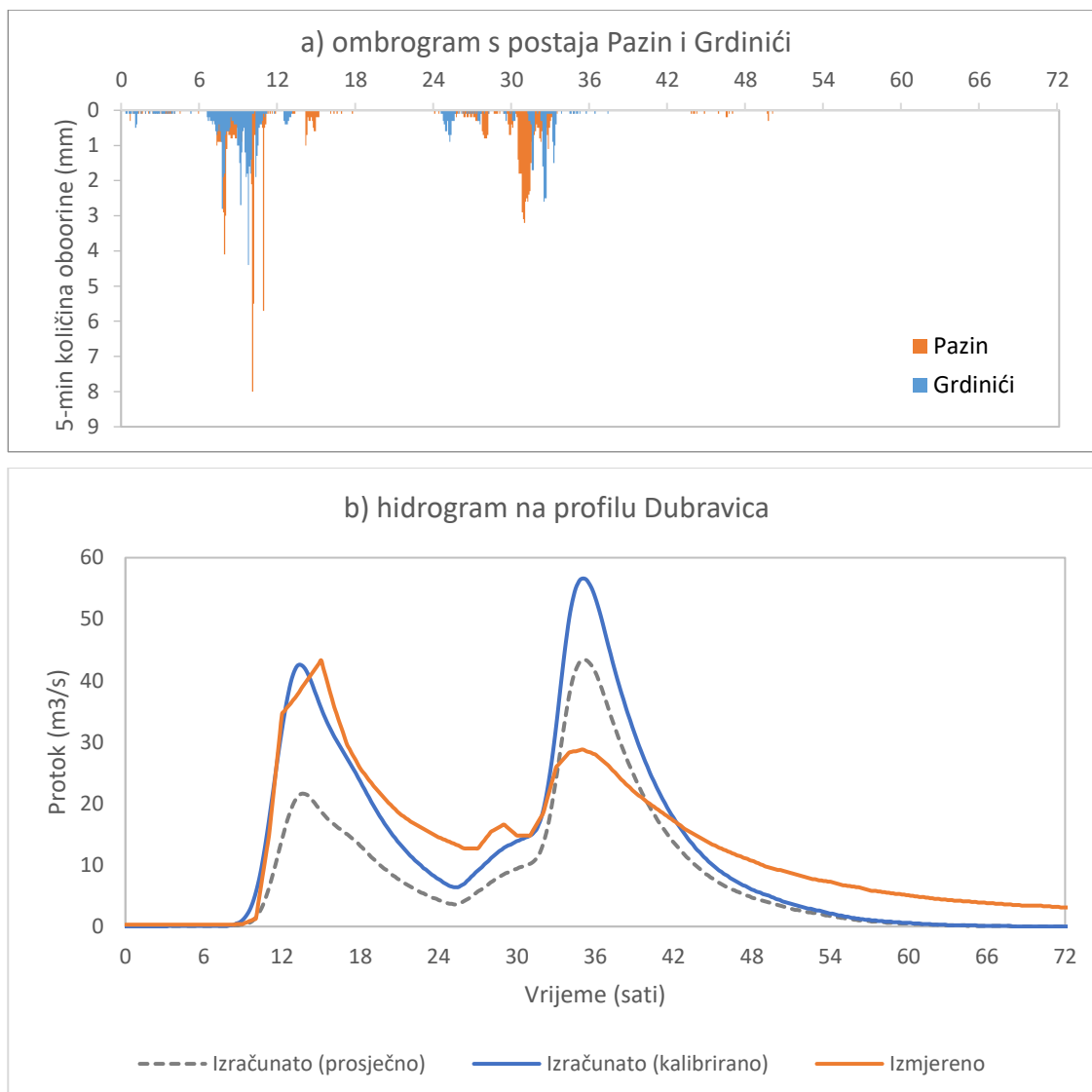
Na slikama 3.6.3 - 3.6.8 prikazani su ombrogrami s postaja Pazin i Grdinići te usporedba izmjerenih i izračunatih hidrograma na profilu Dubravica za odabranih šest vodnih valova, pri čemu su izračunate vrijednosti prikazane za CN broj koji odgovara prosječnom stanju zasićenosti (ARC II) te za kalibrirani CN broj. Također, u tablicama 3.6.4 - 3.6.9 prikazane su vrijednosti vršnog protoka, efektivne oborine, volumena hidrograma, odgovarajućeg CN broja te tri različite mjere pogreške za šest odabranih vodnih valova.



Slika 3.6.3 Kolovoz 2002.: a) ombrogrami s postaja Pazin i Grdinići b) usporedba izmjerenog i izračunatog hidrograma za CN broj koji odgovara prosječnom stanju zasićenosti podloge (ARC II) te za kalibrirani CN broj

Tablica 3.6.4 Kolovoz 2002.: Usporedba izmjerenih i izračunatih vrijednosti vršnog protoka, efektivne oborine, volumena hidrograma te tri različite mjere pogreške za CN broj koji odgovara prosječnom stanju zasićenosti podloge (ARC II) te za kalibrirani CN broj

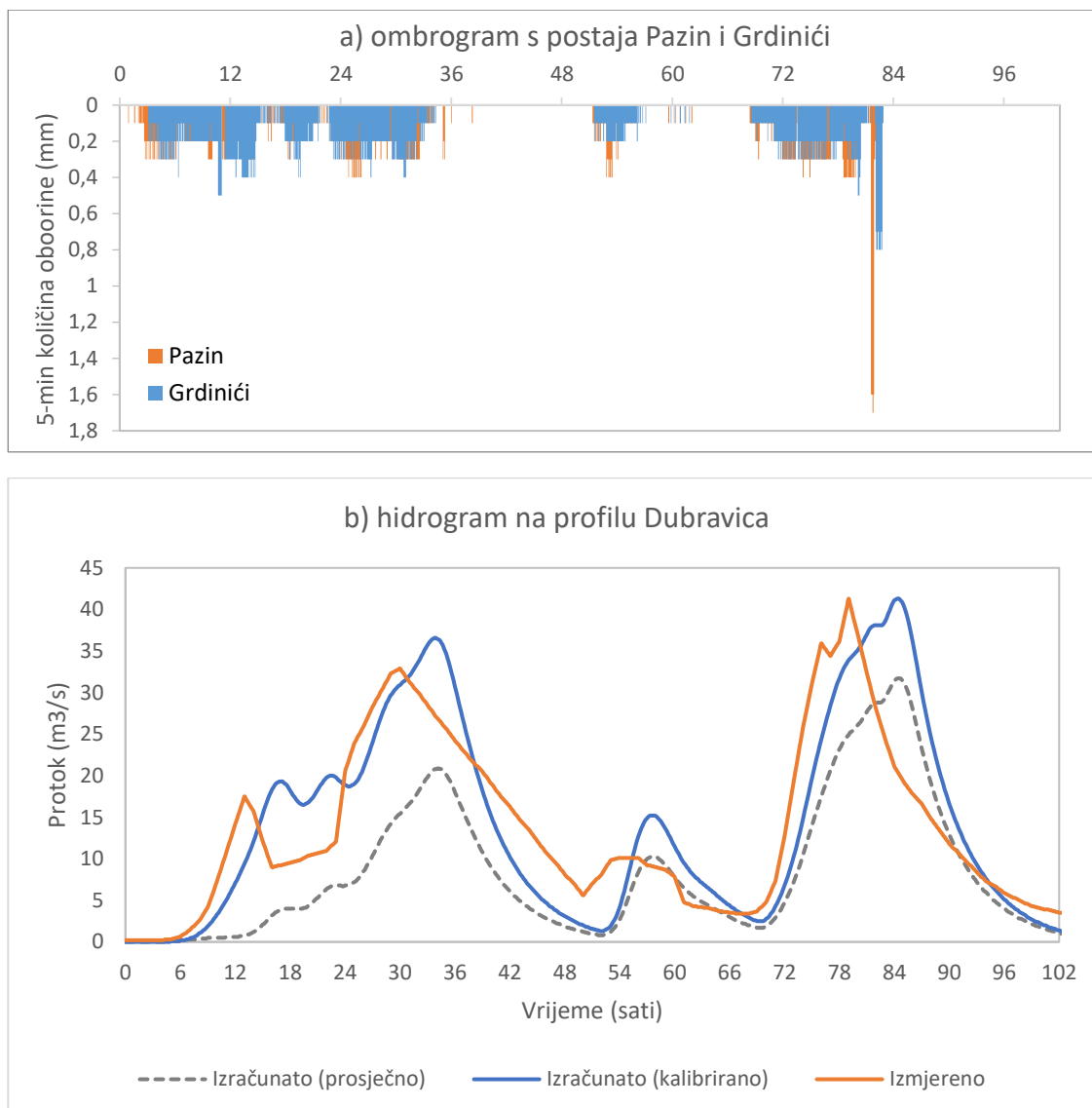
	Izračunato - prosječno	Izračunato - kalibrirano	Izmjereno
Vršni protok (m^3s^{-1})	176,5	73,3	70,2
Efektivna oborina (mm)	99,8	39,7	40,5
Volumen (1000 m^3)	5909,6	2349,1	2395
CN broj	72	47	
RMSE St.dev.	2,2	0,3	
Postotna greška	146,7%	-1,9%	
Nash-Sutcliffe	-3,978	0,883	



Slika 3.6.4 Studeni 2002.: a) ombrogrami s postaja Pazin i Grdinići b) usporedba izmjerenog i izračunatog hidrograma za CN broj koji odgovara prosječnom stanju zasićenosti podloge (ARC II) te za kalibrirani CN broj

Tablica 3.6.5 Studeni 2002.: Usporedba izmjerenih i izračunatih vrijednosti vršnog protoka, efektivne oborine, volumena hidrograma te tri različite mjere pogreške za CN broj koji odgovara prosječnom stanju zasićenosti podloge (ARC II) te za kalibrirani CN broj

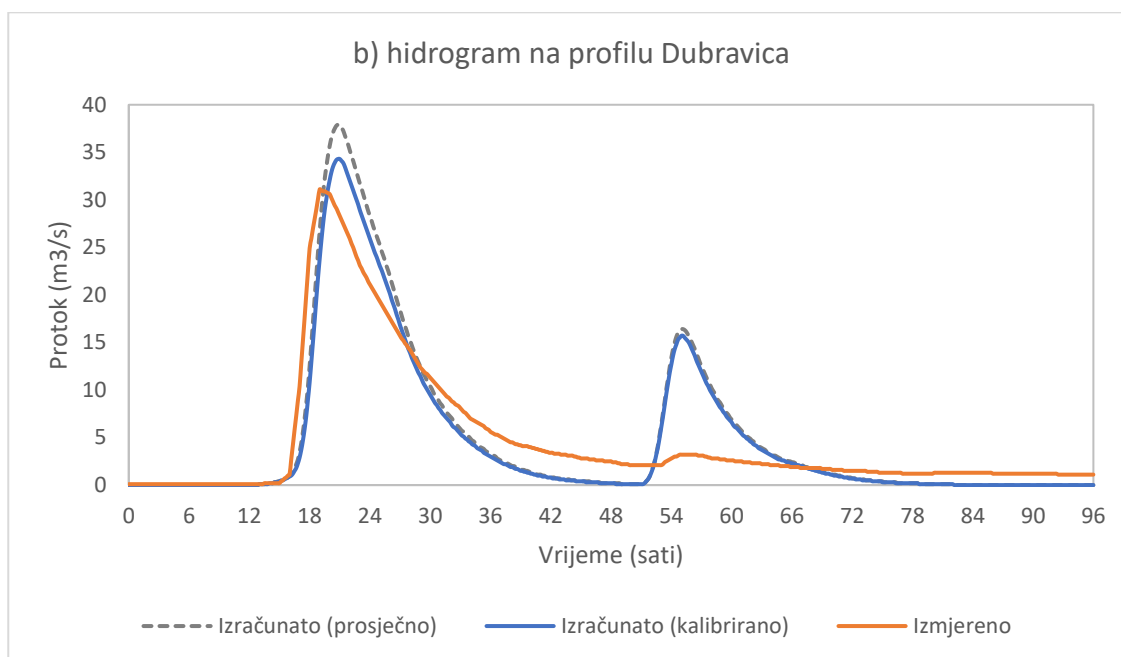
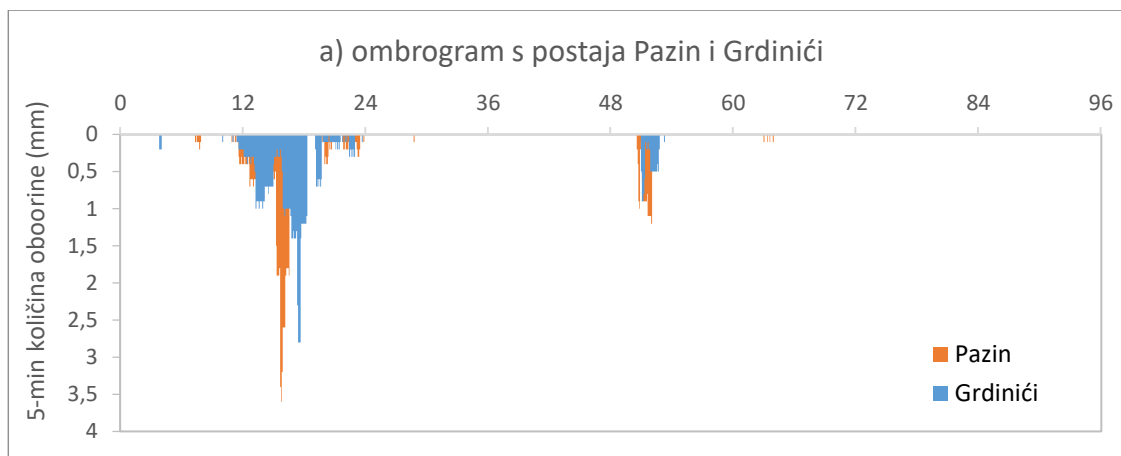
	Izračunato - prosječno	Izračunato - kalibrirano	Izmjereno
Vršni protok (m^3s^{-1})	43,4	56,6	43,3
Efektivna oborina (mm)	35,8	54	57,4
Volumen (1000 m^3)	2117,7	3199,4	3396,8
CN broj	72	82	
RMSE St.dev.	0,8	0,7	
Postotna greška	-37,7%	-5,8%	
Nash-Sutcliffe	0,417	0,565	



Slika 3.6.5 Prosinac 2009.: a) ombrogrami s postaja Pazin i Grdinići b) usporedba izmjerenog i izračunatog hidrograma za CN broj koji odgovara prosječnom stanju zasićenosti podloge (ARC II) te za kalibrirani CN broj

Tablica 3.6.6 Prosinac 2009.: Usporedba izmjerenih i izračunatih vrijednosti vršnog protoka, efektivne oborine, volumena hidrograma te tri različite mjere pogreške za CN broj koji odgovara prosječnom stanju zasićenosti podloge (ARC II) te za kalibrirani CN broj

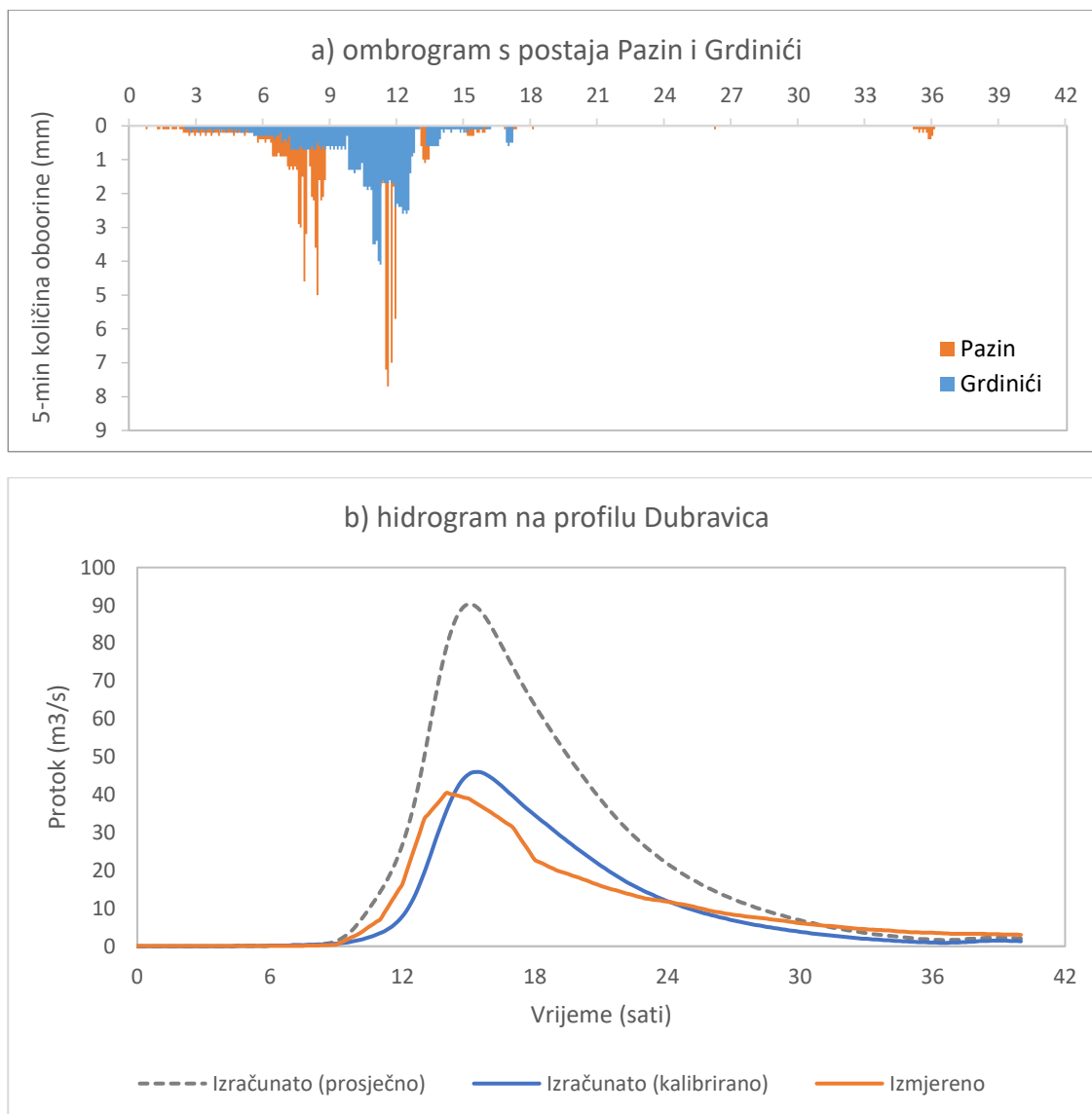
	Izračunato - prosječno	Izračunato - kalibrirano	Izmjereno
Vršni protok (m^3s^{-1})	31,7	41,3	41,3
Efektivna oborina (mm)	52,5	88,63	86,2
Volumen (1000 m^3)	3108,8	5247,9	5106,2
CN broj	72	88	
RMSE St.dev.	0,8	0,6	
Postotna greška	-39,1%	2,8%	
Nash-Sutcliffe	0,328	0,608	



Slika 3.6.6 Rujan 2010.: a) ombrogrami s postaja Pazin i Grdinići b) usporedba izmjerenog i izračunatog hidrograma za CN broj koji odgovara prosječnom stanju zasićenosti podloge (ARC II) te za kalibrirani CN broj

Tablica 3.6.7 Rujan 2010.: Usporedba izmjerenih i izračunatih vrijednosti vršnog protoka, efektivne oborine, volumena hidrograma te tri različite mjere pogreške za CN broj koji odgovara prosječnom stanju zasićenosti podloge (ARC II) te za kalibrirani CN broj

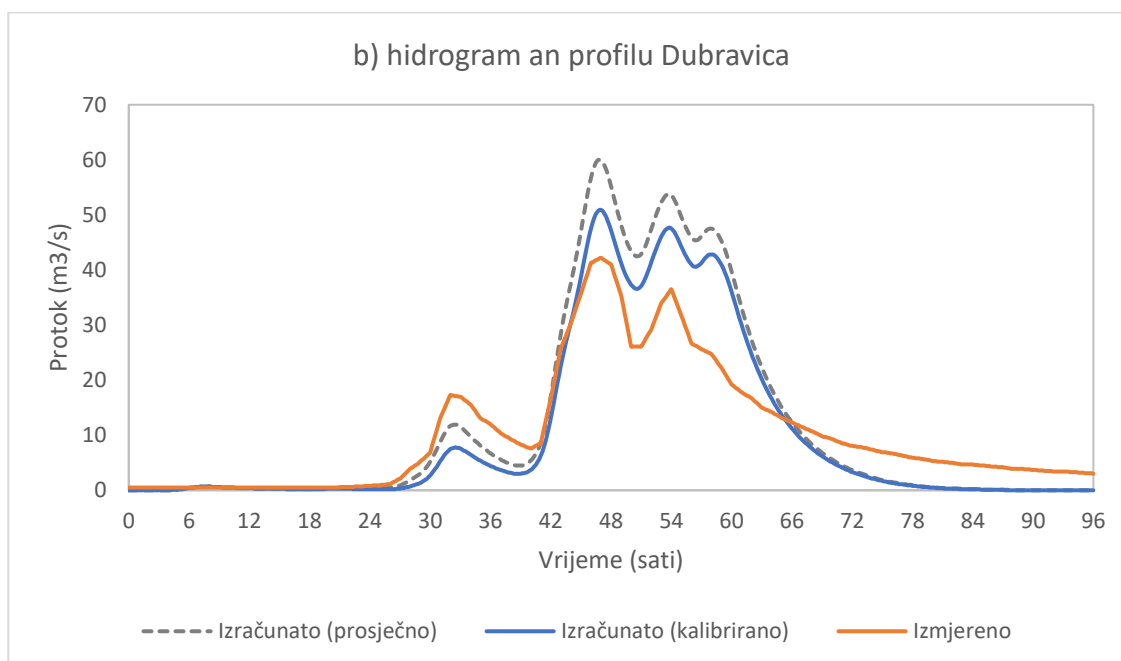
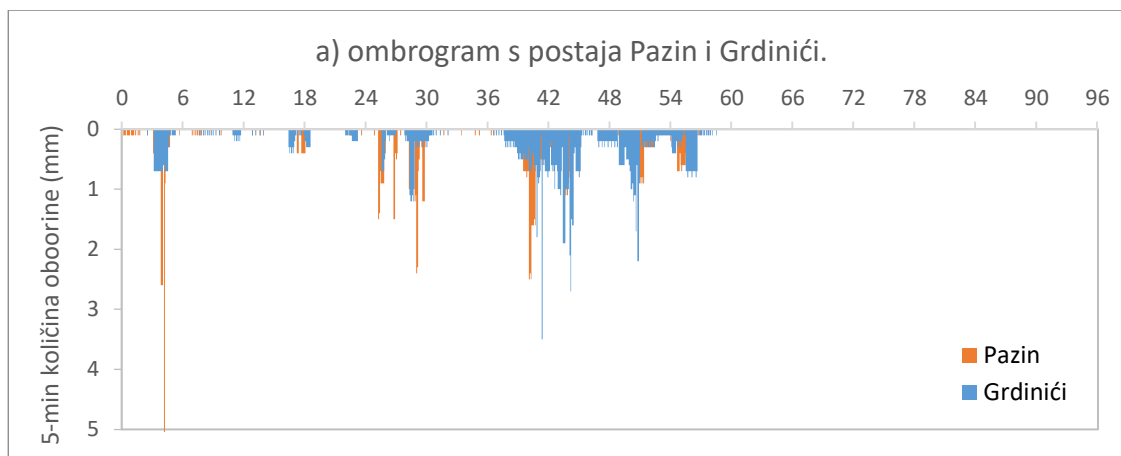
	Izračunato - prosječno	Izračunato - kalibrirano	Izmjereno
Vršni protok (m^3s^{-1})	37,9	34,3	31,1
Efektivna oborina (mm)	29,6	27,2	28,25
Volumen (1000 m^3)	1753,6	1610,5	1672,7
CN broj	72	70	
RMSE St.dev.	0,5	0,5	
Postotna greška	4,8%	-3,7%	
Nash-Sutcliffe	0,717	0,76	



Slika 3.6.7 Listopad 2012.: a) ombrogrami s postaja Pazin i Grdinići b) usporedba izmjenog i izračunatog hidrograma za CN broj koji odgovara prosječnom stanju zasićenosti podloge (ARC II) te za kalibrirani CN broj

Tablica 3.6.8 Listopad 2012.: Usporedba izmjerenih i izračunatih vrijednosti vršnog protoka, efektivne oborine, volumena hidrograma te tri različite mjere pogreške za CN broj koji odgovara prosječnom stanju zasićenosti podloge (ARC II) te za kalibrirani CN broj

	Izračunato - prosječno	Izračunato - kalibrirano	Izmjereno
Vršni protok (m^3s^{-1})	90,3	46	40,5
Efektivna oborina (mm)	49,2	24,9	24,9
Volumen (1000 m^3)	2912,3	1474,4	1475,8
CN broj	72	57	
RMSE St.dev.	1,6	0,4	
Postotna greška	97,3%	-0,1%	
Nash-Sutcliffe	-1,668	0,828	



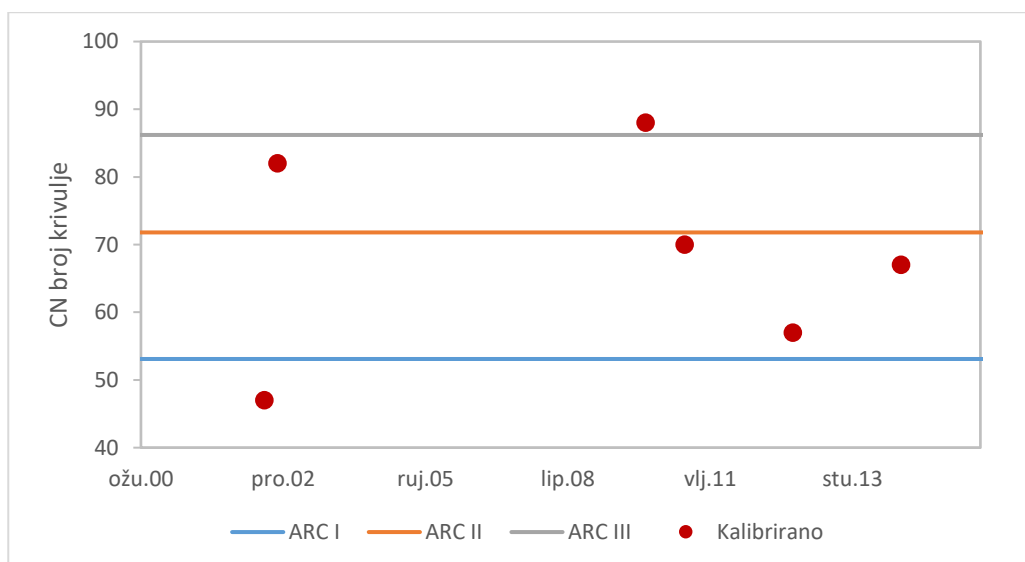
Slika 3.6.8 Studeni 2014.: a) ombrogrami s postaja Pazin i Grdinići b) usporedba izmjerenog i izračunatog hidrograma za CN broj koji odgovara prosječnom stanju zasićenosti podloge (ARC II) te za kalibrirani CN broj

Tablica 3.6.9 Studeni 2014.: Usporedba izmjerenih i izračunatih vrijednosti vršnog protoka, efektivne oborine, volumena hidrograma te tri različite mjere pogreške za CN broj koji odgovara prosječnom stanju zasićenosti podloge (ARC II) te za kalibrirani CN broj

	Izračunato - prosječno	Izračunato - kalibrirano	Izmjereno
Vršni protok (m^3s^{-1})	60	50,9	42,2
Efektivna oborina (mm)	69,9	59,6	60,6
Volumen (1000 m^3)	4140,1	3528,6	3589,9
CN broj	72	67	
RMSE St.dev.	0,7	0,6	
Postotna greška	15,3%	-1,7%	
Nash-Sutcliffe	0,466	0,678	

Nakon provedene kalibracije CN broja, slaganja izračunatih i izmjerenih hidrograma mogu se ocijeniti kao zadovoljavajuća, standardna devijacija RMSE mjere pogreške nalazi se u rasponu od 0,3 do 0,7; postotna pogreška je u rasponu od -0,1% do -5,8%; a koeficijent Nash-Sutcliff je u rasponu od 0,565 do 0,883. Pritom, treba naglasiti kako je preciznost i pouzdanost hidrološkog modela bolja kod pravilnih jednostrukih hidrograma (npr. Slika 3.6.3 i 3.6.7), dok su kod hidrograma sa višestrukim vrhovima, nešto slabija slaganja sekundarnih vrijednosti (npr. Slika 3.6.4 i 3.6.6). Razlog tome može se pripisati pojednostavljenom modelu infiltracije oborine u podlogu koja je opisana SCS metodom i pripadajućim CN brojevima. Naime, navedena metoda pretpostavlja da nakon što oborina prijeđe određenu vrijednost (kada se podloga u potpunosti zasiti), infiltracija postaje jednaka nuli te efektivna oborina (otjecanje) postaje jednaka palim oborinama.

Također, treba naglasiti kako CN brojevi dobiveni kalibracijom modela u ponekim slučajevima znatno odstupaju od CN brojeva za prosječno stanje zasićenosti (ARC II), čak i dosežu, odnosno u dva slučaja i neznatno premašuju vrijednosti za nezasićenu podlogu (ARC I), ali i za potpuno zasićenu podlogu (ARC III). Usporedba kalibriranih CN brojeva i vrijednosti dobivenih analizom pokrova zemljišta u slivu za sva tri slučaja zasićenosti podloge prikazana je na Slici 3.6.9. Najmanja vrijednost CN broja dobivena kalibracijom iznosi 47 (kolovoz 2002.), najveća vrijednost iznosi 88 (prosinac 2009.), dok teoretske vrijednosti CN brojeva dobivene analizom pokrova zemljišta u slivu Pazinčice iznose 53.1 (ARC I), 71.8 (ARC II) te 86.2 (ARC III). Ovi rezultati sugeriraju da proračun vodnih valova snažno ovisi o prethodnim hidrološkim uvjetima, odnosno o stanju zasićenosti podloge oborinom koja je padala u prethodnih tri do pet dana. Stoga je proračun vjerojatnosti pojave velikih vodnih valova u slivu Pazinčice potrebno provesti za sva tri slučaja zasićenosti podloge.

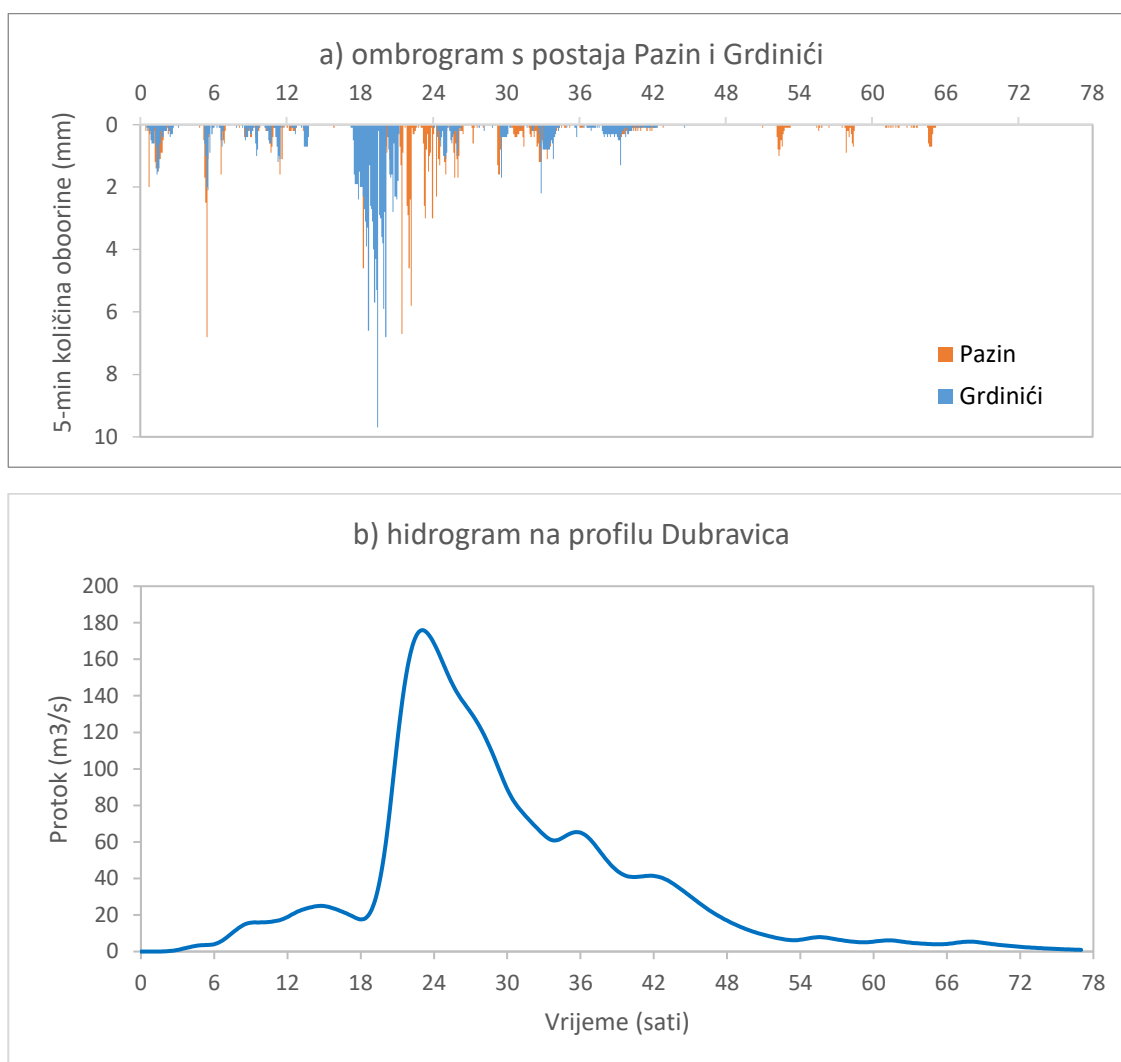


Slika 3.6.9 Usporedba kalibriranih CN brojeva s vrijednostima dobivenima analizom pokrova zemljišta u slivu za tri stupnja zasićenosti podloge

Pored kalibracije i validacije modela usporedbom izračunatih i izmjerenih protoka na profilu Dubravice, provedena je i analiza poplave koja se dogodila u listopadu 1993. godine. Radilo se o pojavi katastrofalno velike vode, kada je na saturiran sliv od prethodno palih oborina tijekom prvih

dvadeset dana listopada (ukupno palo između 130 i 150 mm), u noći s 21. na 22.10. palo između 100 mm (donji dijelovi sliva) i 200 mm oborine (gornji dijelovi sliva), a naredna dva dana i još nešto dodatnih količina oborina, a što je prouzročila formiranje vodnog vala duž čitavog toka Borutskog potoka i Pazinčice na dan 22.10., kao i poplavlivanje ponorske zone širokih razmjera.

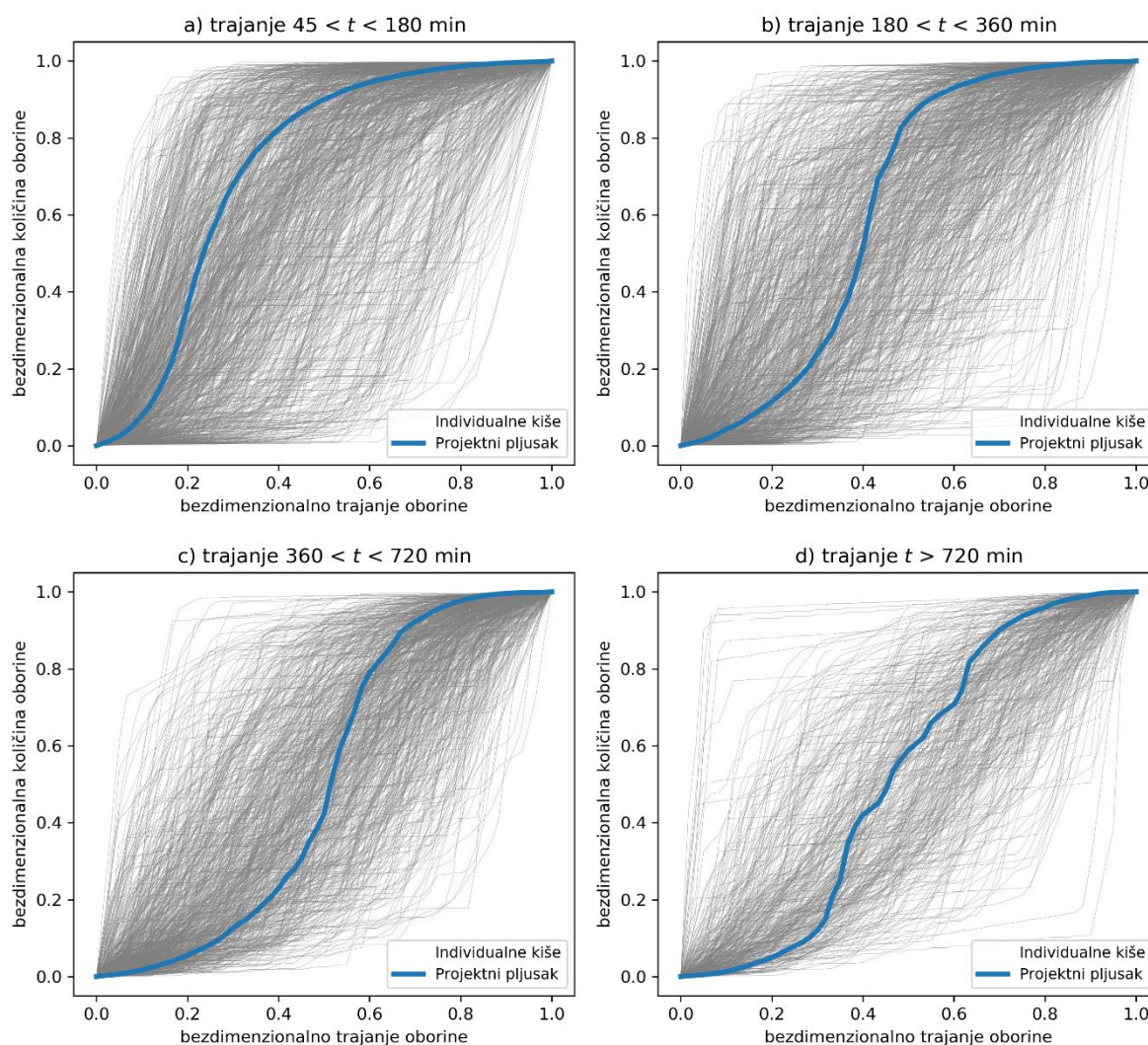
Na slici 3.6.10 prikazana je oborina iz listopada 1993. te izračunati hidrogram na profilu Dubravica za stanje potpune zasićenosti podloge (ARC III). U periodu od 22. do 23. listopada na postaji Pazin zabilježeno je 153 mm, na postaji Grdinići 250,2 mm, Letaj 254 mm, a na postaji Botonega 164 mm oborine. Vršni protok na profilu Dubravica procijenjen je na $176 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.



Slika 3.6.10 Listopad 1993.: a) ombrogrami s postaja Pazin i Grdinići (interpolirano između Letaj i Botonega jer je ombrografska registracija na Grdinićima bila u prekidu), b) izračunati hidrogram za CN broj koji odgovara potpuno zasićenoj podlozi (ARC III)

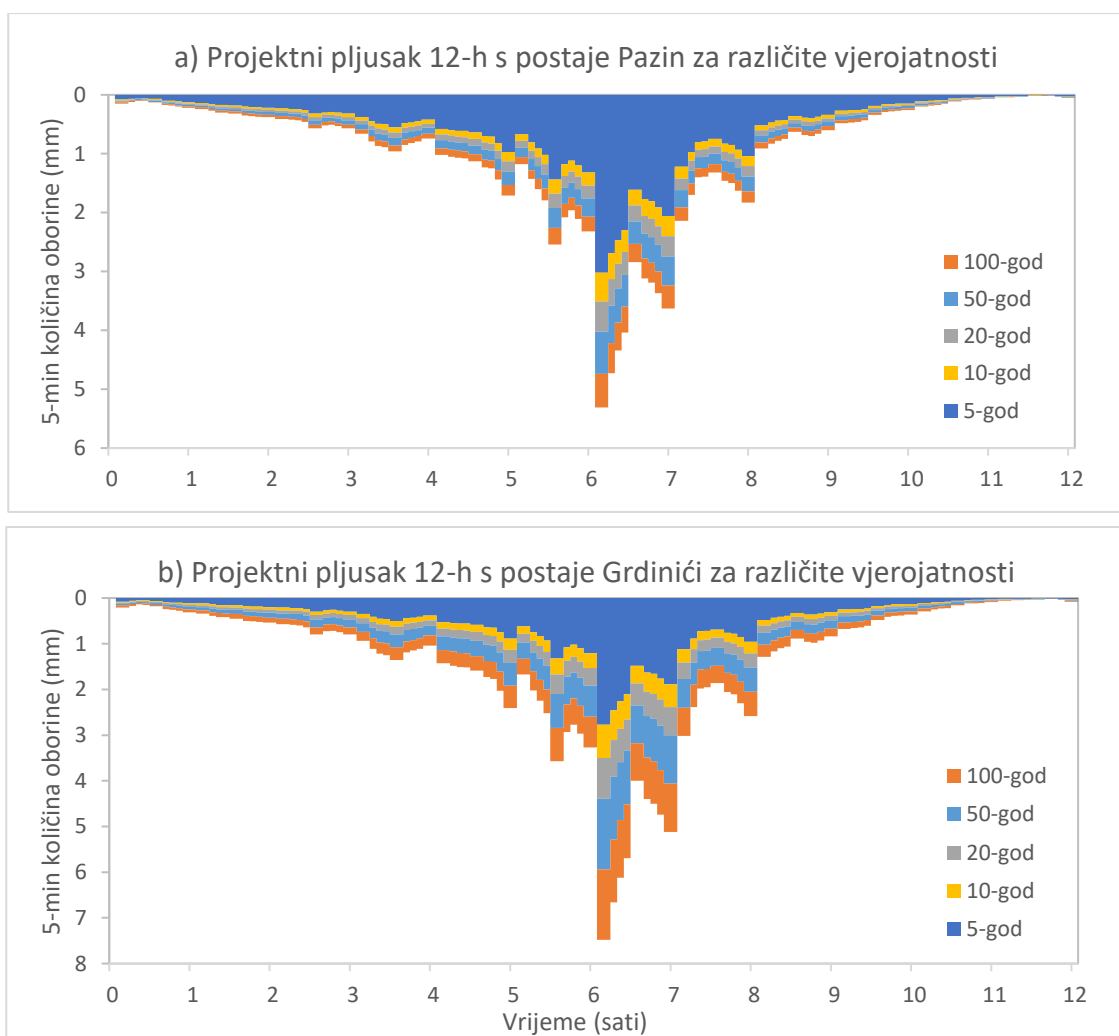
3.6.3. Modeliranje vjerojatnosti pojave vodnih valova na karakterističnim profilima u slivu Pazinčice

Hidrološko modeliranje otjecanja površinskih voda kao posljedice palih oborina provedeno je kako bi se odredila vjerojatnost pojave velikih vodnih valova na tri karakteristična profila u slivu Pazinčicu, preciznije na spoju Borutskog potoka i Lipe, na spoju Pazinčice i Rakovog potoka te na profilu Dubravica. Model je postavljen identično kao i za potrebe validacije, kako je opisano u prethodnom poglavlju. Međutim za podatke o oborinama nisu korišteni povijesne oborine već su korišteni projektni pljuskovi – hipotetske oborine definirane vremenski varijabilnim intenzitetom određenog trajanja i povratnog perioda. Pritom, oblik pljuska određen je pomoću metode prosječne varijabilnosti (Pilgrim i Cordery, 1975), odnosno statističkom analizom oblika svih relevantnih pljuskova zabilježenih na ombrografskim postajama Pazin i Grdinići. Slika 3.6.11 prikazuje bezdimenzionalni oblik kumulativne krivulje pljuska za projektiranje za područje sliva Pazinčice te za četiri razreda trajanja oborine.



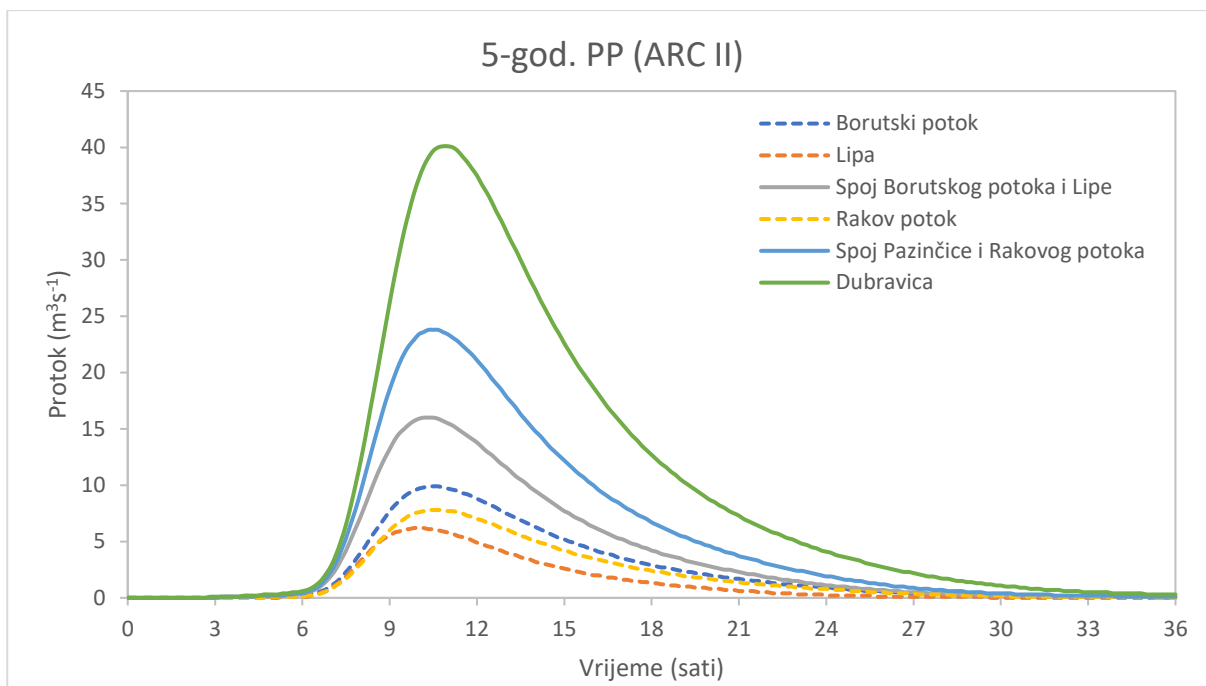
Slika 3.6.11. Bezdimezionalne krivulje projektnog pljuska za četiri razreda trajanja oborine: a) $45 < t < 180$ min, b) $180 < t < 360$ min, c) $360 < t < 720$ min i d) $t > 720$ min

Nakon što su definirani oblici projektnog pljusk, istima su pridružene ukupne količine oborina različitog povratnog perioda određene iz HTP krivulja za postaju Pazin, odnosno Grdinići (prikazano u poglavlju 3.1.1). Generirani su ombrogrami 5-min vremenske razlučivosti za trajanja od 1h do 24h te za povratne periode od 5 do 100 godina, ukupno 60 različitih ombrograma. Preliminarne analize su pokazale da se maksimalne vrijednosti protoka na sva tri profila pojavljuju za 12-satno trajanje projektnog pljusk, zbog čega je isto i usvojeno za detaljniju procjenu vjerojatnosti velikih voda. Na slici 3.6.12 prikazani su 5-min ombrogrami projektnog pljusk trajanja 12 sati za povratne periode od 5, 10, 20, 50 i 100 godine na postajama Pazin i Grdinići. Pored različitih oborina, hidrološke simulacije velikih voda provedene su za tri različita uvjeta zasićenosti podloge (ARC I, II i III), prema vrijednostima prikazanima u tablici 3.6.1.

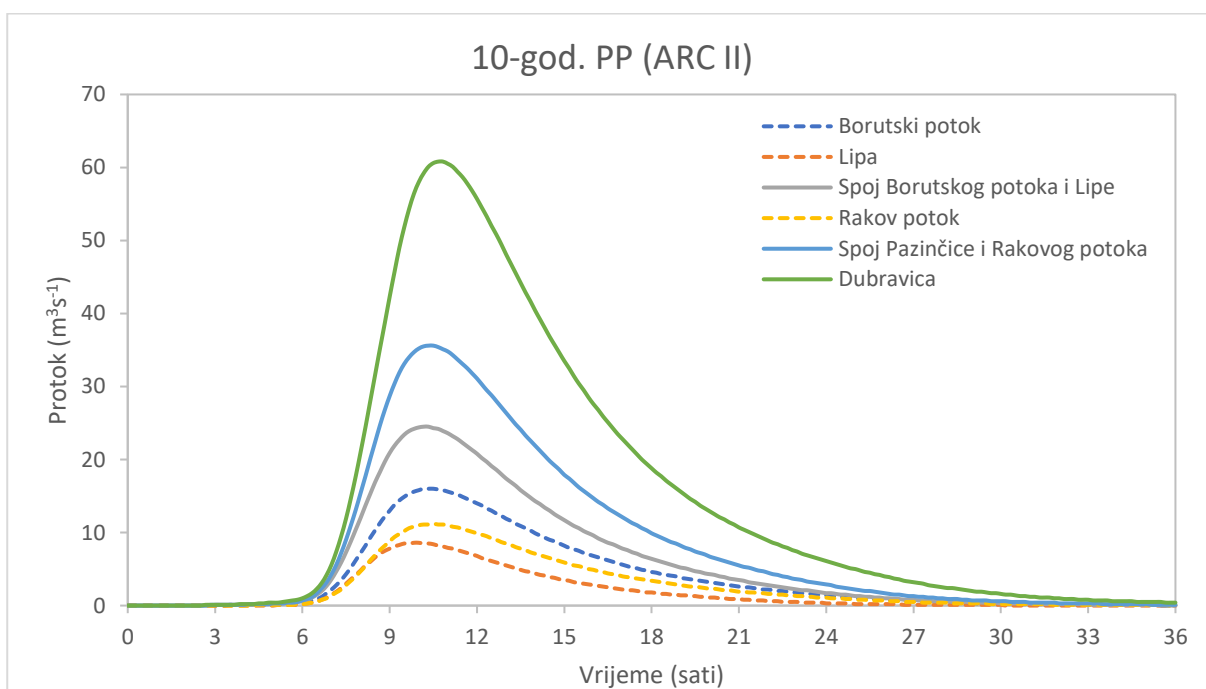


Slika 3.6.12. Ombrogram projektnog pljusk, 5-minutne razlučivosti, 12-satnog trajanja, za različite povratne periode s postaje: a) Pazin i b) Grdinići

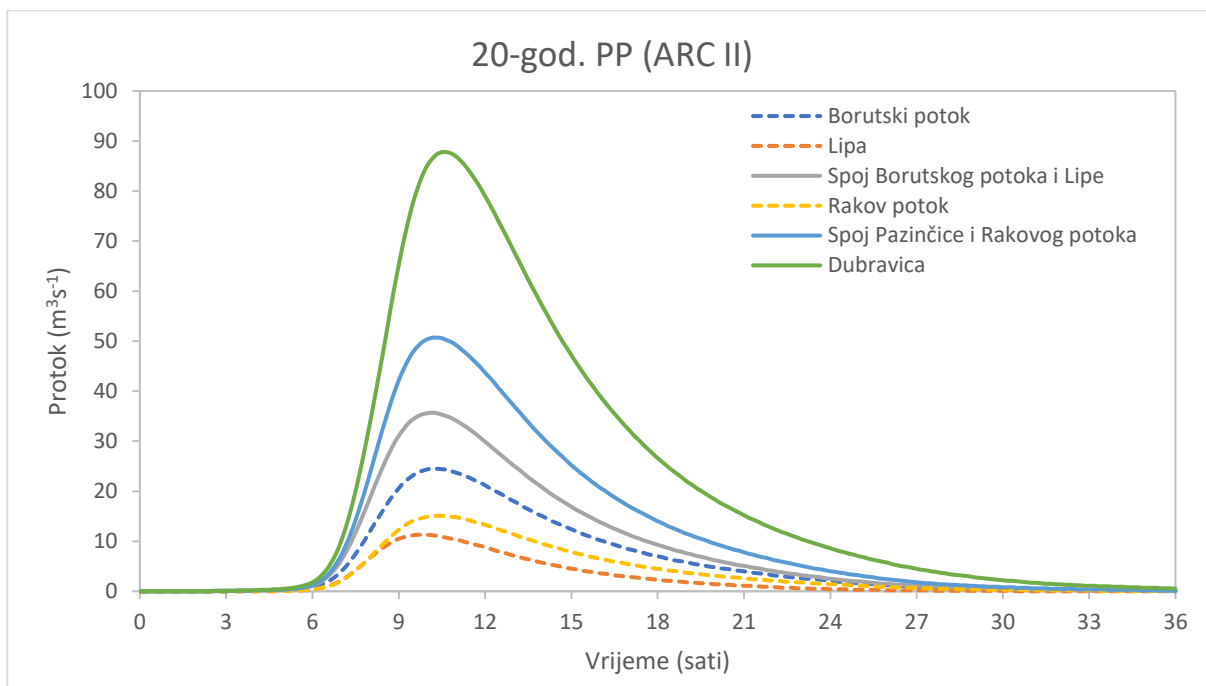
U nastavku, na slikama 3.6.13 – 3.6.17 se prikazuju rezultati izračunatih hidrograma na profilima spoja Borutskog potoka i Lipe, spoja Rakovog potoka s Pazinčicom te na profilu Dubravica, sve za povratne periode od 5, 10, 20, 50, i 100 godina i prosječno stanje zasićenosti podloge (ARC II). Ovi rezultati prikazuju porast protoka duž korita Pazinčice od uzvodnih profila do Dubravice te pojedinačni doprinos navedenih pritoka.



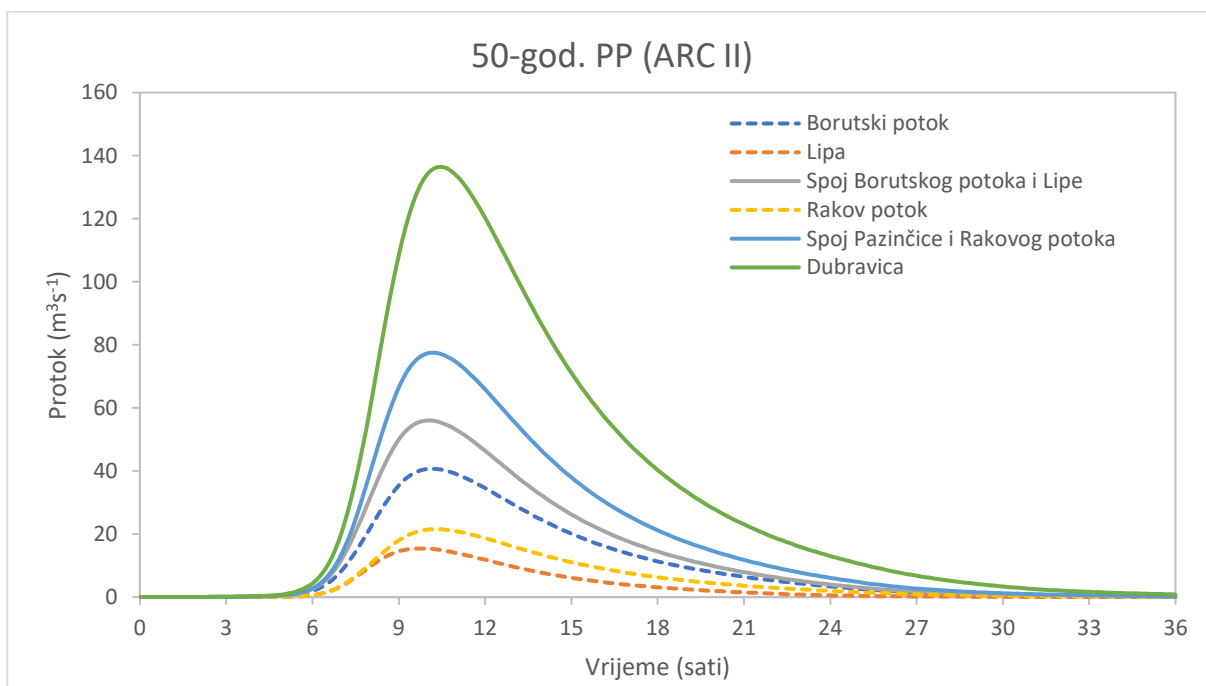
Slika 3.6.13 Teoretski hidrogram generiran projektnim pljuskom za povratni period 5 godina i prosječno stanje zasićenosti podloge (ARC II)



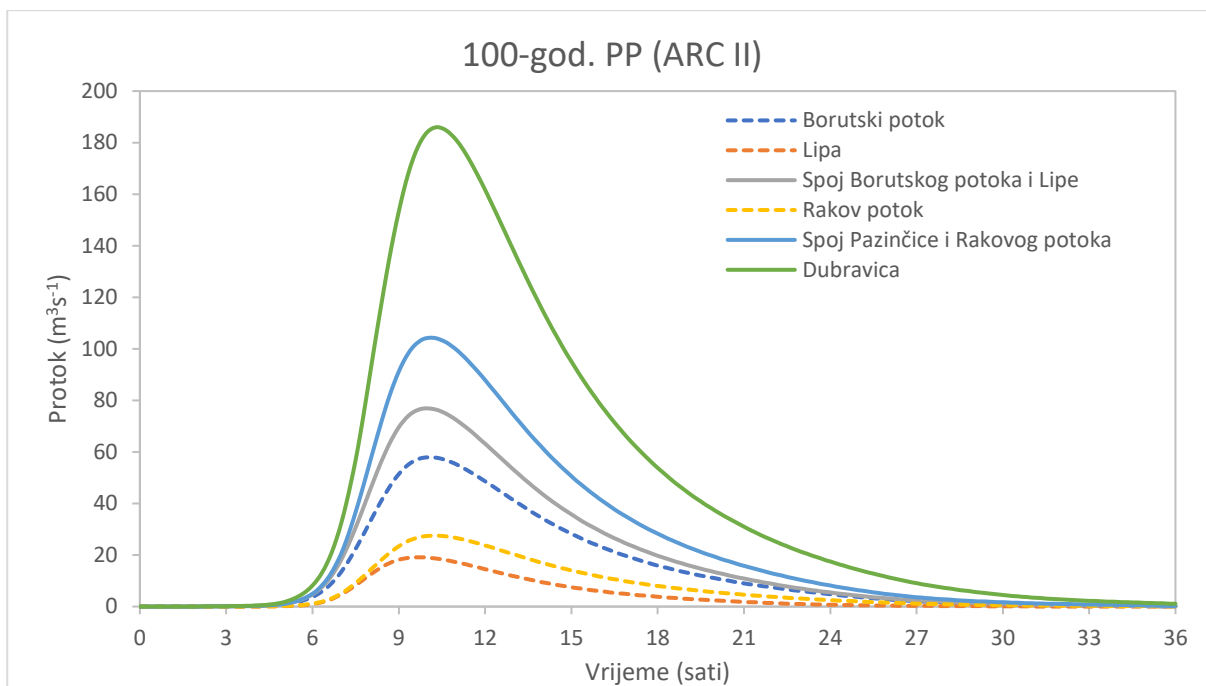
Slika 3.6.14 Teoretski hidrogram generiran projektnim pljuskom za povratni period 10 godina i prosječno stanje zasićenosti podloge (ARC II)



Slika 3.6.15 Teoretski hidrogram generiran projektnim pljuskom za povratni period 20 godina i prosječno stanje zasićenosti podloge (ARC II)

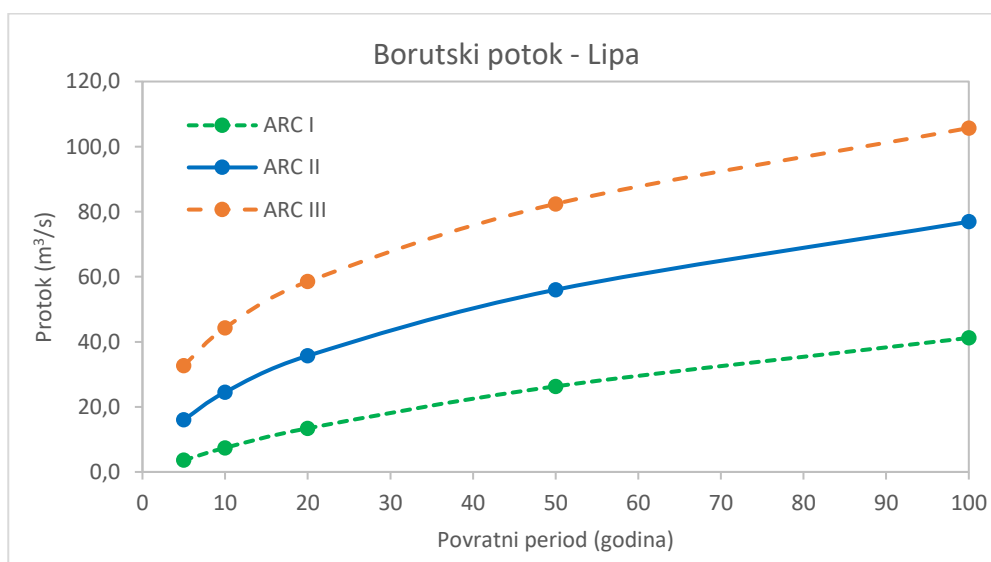


Slika 3.6.16 Teoretski hidrogram generiran projektnim pljuskom za povratni period 50 godina i prosječno stanje zasićenosti podloge (ARC II)



Slika 3.6.17 Teoretski hidrogram generiran projektnim pljuskom za povratni period 100 godina i prosječno stanje zasićenosti podloge (ARC II)

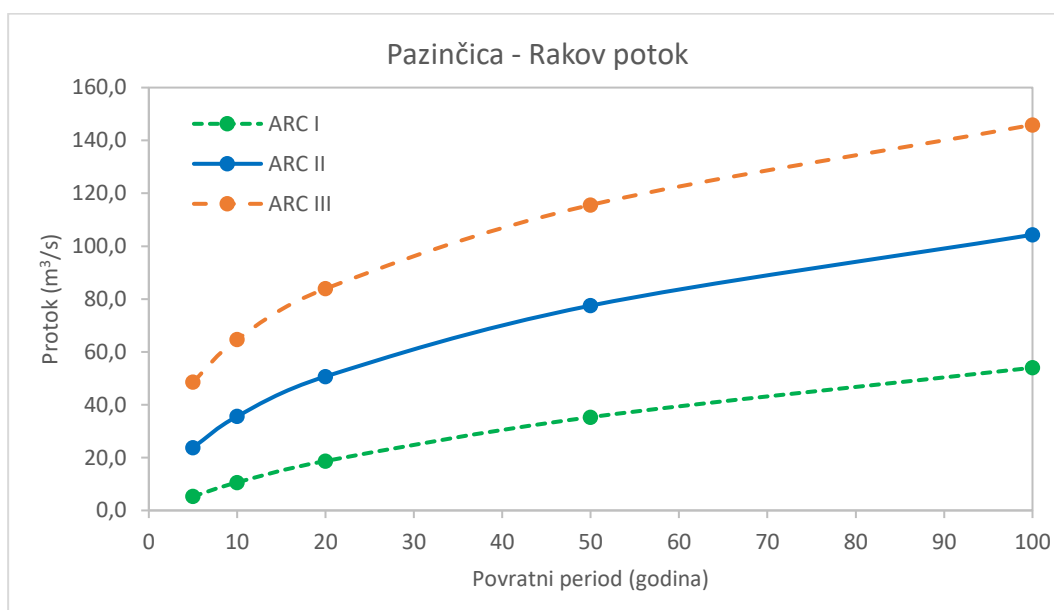
Temeljem provedenih hidroloških analiza izdvojene su karakteristične vrijednosti u vidu vršnih protoka i ukupnih volumena kako bi se definirale vjerojatnosti pojave velikih voda za tri različita stupnja zasićenosti podloge na profilima spoja Borutskog potoka i Lipe (Tablica 3.6.10 i Slika 3.6.18), spoja Rakovog potoka s Pazinčicom (Tablica 3.6.11 i Slika 3.6.19) te na profilu Dubravica (Tablica 3.6.12 i Slika 3.6.20) gdje je i uspostavljeno kontinuirano mjerenje vodostaja i protoka.



Slika 3.6.18 Vjerojatnost pojave velikih vodnih valova za različite povratne periode i tri različita stupnja zasićenosti podloge na profilu spoja Borutskog potoka i Lipe

Tablica 3.6.10 Vršni protoci i ukupni volumeni za različite povratne periode i tri stupnja zasićenosti podloge na profilu spoja Borutskog potoka i Lipe

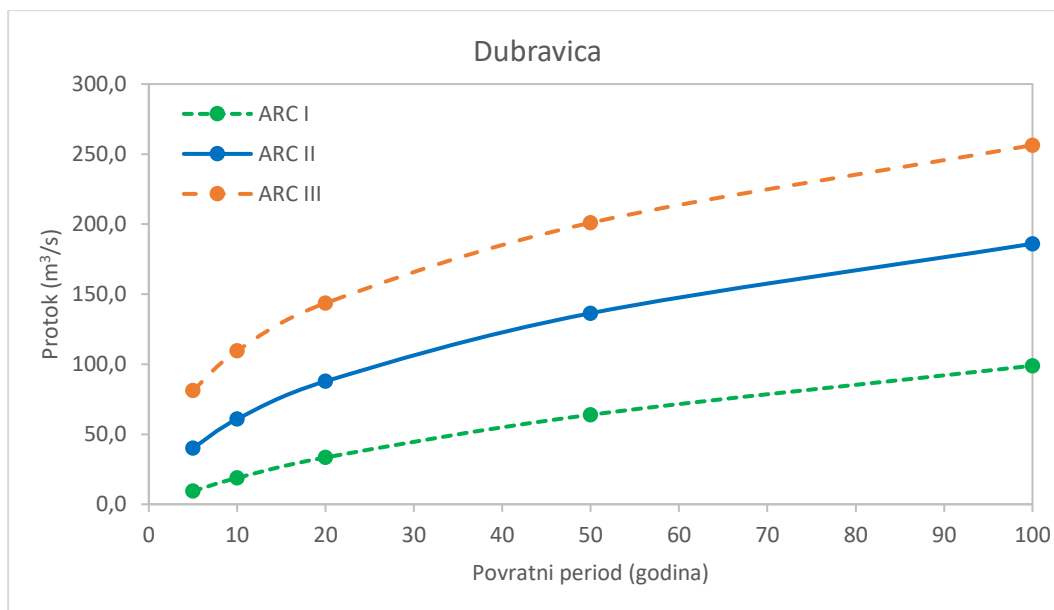
PP (god.)	Protok Q (m ³ s ⁻¹)			Volumen V (1000 m ³)		
	ARC I	ARC II	ARC III	ARC I	ARC II	ARC III
5	3,6	16,0	32,7	107,8	465,2	960,3
10	7,4	24,5	44,3	218,8	714,8	1308,5
20	13,4	35,7	58,5	396,1	1046,9	1737,9
50	26,3	56,0	82,4	776,0	1656,1	2472,5
100	41,2	76,9	105,7	1218,5	2287,4	3194,3



Slika 3.6.19 Vjerojatnost pojave velikih vodnih valova za različite povratne periode i tri različita stupnja zasićenosti podloge na profilu spoja Rakovog potoka i Pazinčice

Tablica 3.6.11 Vršni protoci i ukupni volumeni za različite povratne periode i tri stupnja zasićenosti podloge na profilu spoja Rakovog potoka i Pazinčice

PP (god.)	Protok Q (m ³ s ⁻¹)			Volumen V (1000 m ³)		
	ARC I	ARC II	ARC III	ARC I	ARC II	ARC III
5	5,3	23,8	48,6	162,3	706,2	1454,1
10	10,6	35,6	64,7	318,4	1058,3	1945,4
20	18,7	50,7	83,9	557,9	1512,3	2535,0
50	35,3	77,5	115,6	1053,6	2321,3	3518,1
100	54,0	104,3	145,9	1615,3	3139,4	4462,1



Slika 3.6.20 Vjerojatnost pojave velikih vodnih valova za različite povratne periode i tri različita stupnja zasićenosti podloge na profilu Dubravica

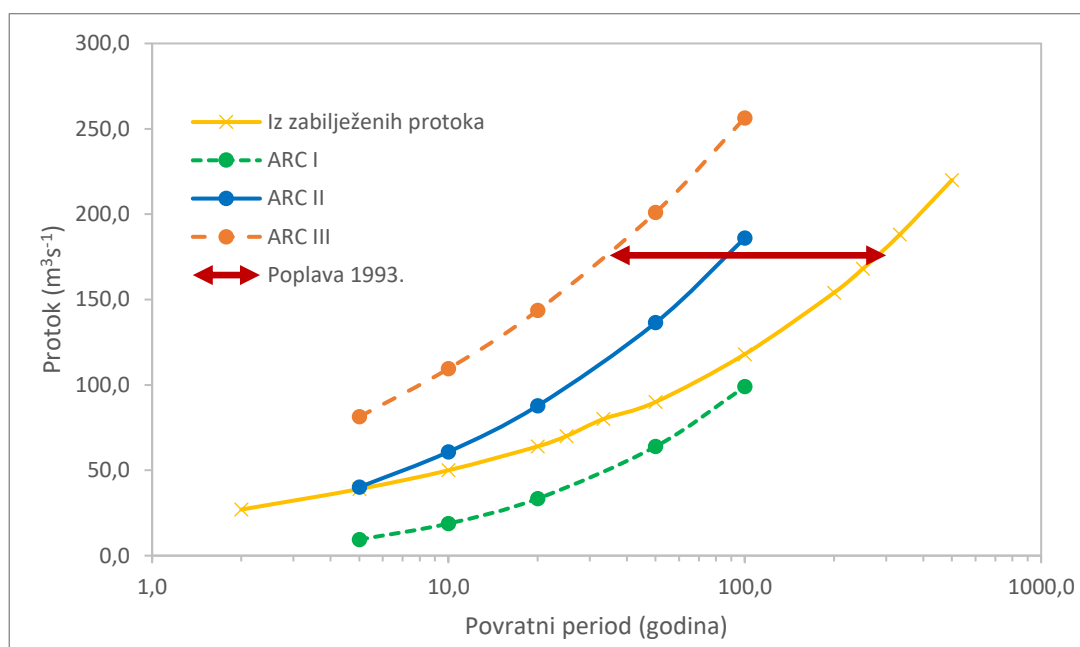
Tablica 3.6.12 Vršni protoci i ukupni volumeni za različite povratne periode i tri stupnja zasićenosti podloge na profilu Dubravica

PP (god.)	Protok Q (m³s ⁻¹)			Volumen V (1000 m³)		
	ARC I	ARC II	ARC III	ARC I	ARC II	ARC III
5	9,4	40,1	81,3	302,5	1237,0	2518,0
10	18,8	60,8	109,5	590,6	1873,4	3400,6
20	33,4	87,8	143,6	1038,6	2707,0	4476,5
50	63,9	136,4	201,0	1977,7	4215,0	6297,1
100	98,9	186,0	256,4	3053,5	5760,2	8069,7

Vjerojatnosti pojave teoretskih vodnih valova dobivenih kao rezultat hidrološkog modeliranja za zadane jake oborine određene vjerojatnosti pojave uspoređene su s vjerojatnostima pojave vodnih valova dobivenih statističkom analizom izmjerenih protoka na profilu Dubravica (iz poglavlja 3.5.2). Usporedba je prikazana na slici 3.6.21 u polu-logaritamskom mjerilu. Može se primijetiti kako vjerojatnosti dobivene iz izmjerenih protoka odgovaraju vjerojatnostima teoretskih velikih voda za ispodprosječno stanje zasićenosti podloge. Što je povratni period veći, a vjerojatnost pojave velikih vodnih valova manja, to se izmjereni protoci približavaju teoretskim vrijednostima za potpuno nezasićenu podlogu.

Na slici 3.6.21 dodatno je prikazana i vjerojatnost pojave ekstremne poplave iz 1993. kada je procijenjen vršni protok od 176 m³s⁻¹. Ako se sagledava samo vjerojatnost pojave oborine koja uzrokuje velike vodne valove, tada taj protok odgovara širokom rasponu vjerojatnosti, od 30-godišnjeg povratnog perioda za slučaj potpuno zasićene podloge, preko 90-godišnjeg povratnog perioda za prosječno stanje zasićenosti, do 300-godišnjeg perioda za protoke čija je vjerojatnost određena na temelju nizova zabilježenih vrijednosti maksimalnih godišnjih protoka.

Ovakav rezultat se može razjasniti ako se količina oborine koja direktno generira velike vodne valove i količina oborine koja je pala u prethodna tri dana, a koja direktno korelira sa stupnjem zasićenosti podloge, gledaju kao dvije odvojene pojave, svaka sa pripadajućom vjerojatnosti, odnosno povratnim periodom. Jednako kao što intenzivniju oborinu određenog trajanja vežemo uz veći povratni period, odnosno manju vjerojatnost pojave, jednako tako možemo količini oborine koja je pala u prethodna tri dana pridružiti određeni povratni period. Pritom, veća količina oborine u prethodna tri dana odgovara većem povratnom periodu. Treba napomenuti da u tom pogledu, ove dvije pojave treba statistički analizirati bivarijantnim metodama kako bi se preciznije odredila kompozitna vjerojatnost, odnosno vjerojatnost složenog događaja na koji utječe ne samo količina oborine u danom trenutku, već i količina oborine koja je pala u prethodna tri dana. Primjerice, ako pretpostavimo da potpuno zasićena podloga (ARC III) odgovara 100-god povratnom periodu, tada 100-god oborina koja padne na potpuno zasićenu podlogu odgovara znatno većem povratnom periodu od 100-god, odnosno vjerojatnosti da se istodobno dogode dva događaja vrlo male vjerojatnosti.



Slika 3.6.21 Usporedba vjerojatnosti pojave teoretskih vodnih valova za tri različita stupnja zasićenosti podloge te vjerojatnosti pojave izmjerenih vodnih valova na profilu Dubravica, uz prikaz vjerojatnosti pojave ekstremne poplave iz 1993.

Pojednostavljeno rečeno, zbog karaktera pojava kratkotrajnih jakih oborina koje se ponajviše pojavljuju tijekom sušnijeg razdoblja, rijetkim pojavama velikih voda odgovara uvjet prethodno nezasićenog tla s vodom, a učestalijim nešto veći stupanj zasićenja, uglavnom do oko prosječnoga za 5-godišnji povratni period. Iz tog razloga je preporučljivo da se iz razloga sigurnosti proračuni velikih voda u slivu Pazinčice provode za slučaj prosječne prethodne saturiranosti tla s vodom. To je donekle precijenjeno za rijetke povratne periode, ali uzimajući u obzir da se uslijed utjecaja klimatskih promjena očekuje porast intenziteta kratkotrajnih jakih oborina, s takvim pristupom se garantira prikladan stupanj sigurnosti za takve rijetke događaje.

3.6.4. Usporedba rezultata proračuna maksimalnih protoka

U danom dokumentu maksimalni protoci na određenim profilima, prije svega na profilu hidrološke postaje Dubravica – Pazinčica, računati su na više načina – u okviru točke 3.5 probablističkim pristupom – uz korištenje podataka o povijesno zabilježenim protocima, kao i parametarskim pristupom – korištenjem HTP krivulja uz aproksimaciju hidrograma otjecanja trokutno, te u okviru točke 3.6.3 modelskim pristupom s kojim se uz samo vršnu vrijednost protoka dobije i cjelokupni hidrogram vodnog vala određene vjerojatnosti pojave. Usporedni prikaz dobivenih rezultata provedenih obrada za profil hidrološke postaje Dubravica, kako u danom dokumentu, tako i u nekoliko ranijih vezanih uz regulacijske radove na Pazinčici, dan je u tablici 3.6.13.

Tablica 3.6.13. Proračun maksimalnih protoka Pazinčice na hidrološkoj postaji Dubravica prema različitim izvorima

Povratni period (god)	Vjerojatnost pojave (%)	Proračunati protok u danom dokumentu (m ³ s ⁻¹)			Proračunati protok u ranijim dokumentima (m ³ s ⁻¹)		
		Probablistički pristup	SCS s trokutnim hidrogramom	Modelski pristup ARC II	Građevinski institut OOUR Fakultet građevinskih znanosti Zagreb (1990)	Projekt 90 (2008) probablistički	Projekt 90 (2008) prema SCS
5	20	33		40,1	77,87	31	
10	10	50		60,8		40	
20	5	73	60	88,0	125,65	57	84,0
50	2	110		136,4	155,73	98	119,7
100	1	140	190	186,0	178,74	158	139,8

Iz danog je prikaza vidljivo kolike su razlike u dobivenim rezultatima – kako između pojedinih dokumenata, tako i unutar istih dokumenata, ali obzirom na korištenu metodologiju proračuna. U danom dokumentu, između tri različita pristupa i po njima dobivenim rezultatima, za preporučiti je korištenje modelskog pristupa koji generira cjelokupni hidrogram otjecanja, a ne samo vršni protok, te su ti podaci usvojeni kao mjerodavni. To je posebno važno i zbog okolnosti da je kapacitet ponorske zone Pazinčice ograničen, pri čemu dolazi do povremenog poplavlivanja dijelova predponorske zone, te je pri analizama protjecanja i transformacije vodnih valova potrebno poznavanje oblika cjelokupnog hidrograma.

Usporede li se vrijednosti proračunatih vršnih protoka u danom dokumentu s nekim ranijim, vidljivo je da je proračunati 100-godišnji protok nešto veći nego li je proračunat u tim ranijim dokumentima, dok je proračunati vršni protok 20-godišnjeg vodnog vala dijelom veći od tih ranijih procjena, ali manji od procjena danih u dokumentu Fakulteta graditeljskih znanosti iz Zagreba (1990) koje su, kao i ostale prethodne obrade, bile temeljene na puno kraćem nizu podataka o zabilježenim protocima, te i manje pouzdane .

3.7. Hidrološka analiza izvorišnih voda u slivu Raše

Kao što je vidljivo iz točke 3.2 i 2.3, na području srednjeg toka rijeke Raše ima niz desnoobalnih izvora hidrološki povezanih s ponorom Pazinčice, no nažalost samo na izvoru Rakonek, koga koristi vodovod Pula, postoje kontinuirana praćenja hidroloških značajki. Mjerenja provodi DHMZ, a prate se prelivne i crpljene količine s izvora, kao i njegova ukupna izdašnost koja predstavlja sumu dnevnih vrijednosti ovih dvaju prethodno navedenih tipova podataka o protocima.

3.7.1. Analiza rezultata monitoringa s postaje Rakonek

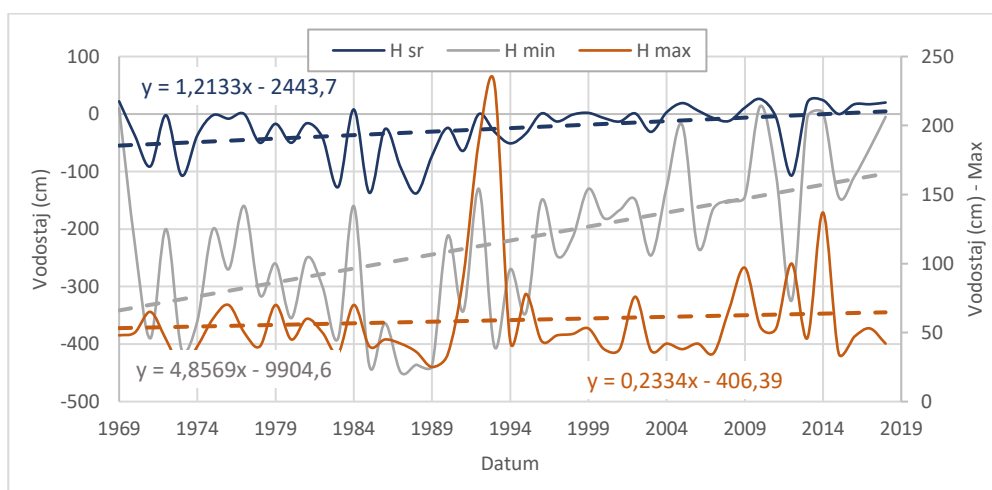
U tablici 3.7.1 prikazani su rezultati osnovne statističke obrade podataka (Sr – srednja vrijednost niza, Stdev – standardna devijacija, Cv – koeficijent varijacije, Max i Min – ekstremne registrirane vrijednosti unutar analiziranog niza srednjih mjesečnih ili godišnjih vrijednosti) maksimalnih, srednjih i minimalnih mjesečnih i godišnjih vodostaja u razdoblju od 1969. do 2018. na postaji Rakonek. Na slikama 3.7.1 i 3.7.2 dani su prikazi trendova hoda karakterističnih srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih vrijednosti vodostaja, kao i njihova unutar godišnja raspodjela. Vidljivo je da ni srednji ni maksimalni vodostaji ne pokazuju nikakve izraženije trendove, no oni su očiti pri minimalnim vodostajima koji imaju trend porasta. Razlog tome je pad potrošnje vode devedesetih godina zbog ratnih prilika u Hrvatskoj, kao i uvođenje u vodoopskrbni sustav akumulacije Butoniga 2002. godine, uslijed čega se je smanjilo precrpljivanje toga izvora tijekom dugotrajnih sušnih razdoblja.

U razdoblju od 1969. do 2018. najveći zabilježeni vodostaj na izvoru Rakonek iznosio je 230 cm (listopad, 1993.) što je uzrokovala velika količina oborina u listopadu na okolnom području i području grada Pazina (313,4 mm), ali i uspor voda rijeke Raše. Najmanji zabilježeni vodostaj iznosio je -449 cm (kolovoz, 1987.), za koliko se razina vode spustila ispod razine praga preljeva, koja je na koti od 3,72 m n.m. Radilo se o precrpljivanju izvora, odnosno korištenju njegovih statičkih rezervi obzirom da je dosegnuta razina od 0,77 m ispod kote „0“.

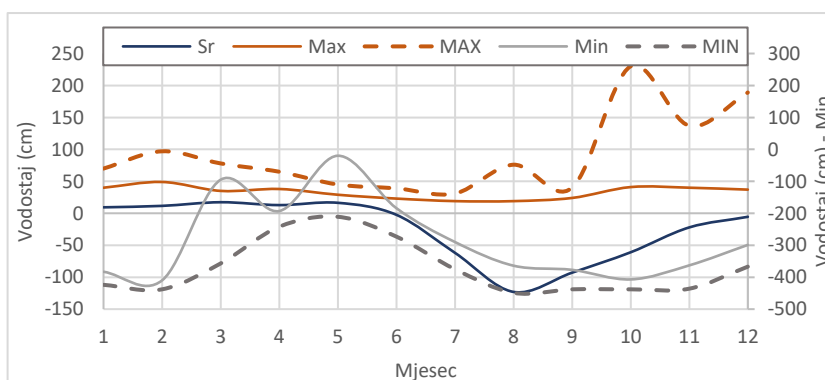
Srednji godišnji vodostaj za cijelo razdoblje opažanja također je negativan i iznosi -25 cm. U posljednjih 30 godina (1989.-2018.), najmanji srednji godišnji vodostaj iznosio je -107 cm tijekom 2012. godine, a u razdoblju od lipnja do listopada iznosio je -210 cm, što je je znatno niže od srednjeg vodostaja promatranog razdoblja. Razlog tome je, posljednja zabilježena velika suša koja je započela 2011., a nastavila se i intenzivirala tijekom 2012. godine. Tada je, odlukom župana Istarske županije donesena odluka o redukcije vode I. stupnja na čitavom području Istarske županije (tijekom razdoblja 23.07.-24.09.2012.). Redukcija se odnosila na zabranu navodnjavanja, zalijevanja javnih zelenih površina, sportskih terena, pranje automobila i slično, bez zabrana neposrednog korištenja voda za potrebe stanovništva i turizma.

Tablica 3.7.1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti vodostaja (cm) na postaji Rakonek u razdoblju od 1969. do 2018. godine

Rakonek - Vodostaj (1969. - 2018.)													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji (cm)													
Sr	9	12	17	13	16	-2	-62	-123	-93	-61	-22	-6	-25
Stdev	60	64	22	35	10	44	80	119	112	107	94	74	44
Cv	6,47	5,49	1,25	2,76	0,591	18,2	1,30	0,966	1,20	1,75	4,23	13,3	1,73
Max	40	49	35	38	29	23	19	19	24	41	40	37	26
Min	-383	-410	-95	-193	-20	-184	-290	-364	-377	-407	-363	-299	-138
Maksimalni (cm)													
Sr	25	25	31	25	26	19	-5	-53	-27	-6	20	29	59
Stdev	57	58	18	28	6	16	55	97	93	101	77	49	37
Cv	2,26	2,33	0,570	1,11	0,252	0,829	10,5	1,82	3,41	16,7	3,90	1,73	0,635
Max	70	97	78	65	45	39	31	76	40	230	137	189	230
Min	-362	-355	-61	-153	17	-76	-231	-273	-308	-374	-321	-250	25
Minimalni (cm)													
Sr	-7	-1	-2	-1	-2	-34	-130	-187	-162	-120	-74	-32	-222
Stdev	70	69	64	56	51	75	114	132	127	127	127	102	132
Cv	10,69	60,4	27,3	103,8	21,3	2,23	0,877	0,707	0,784	1,05	1,72	3,19	0,594
Max	30	33	25	30	22	18	15	15	14	18	20	23	14
Min	-424	-438	-357	-242	-211	-273	-375	-449	-438	-438	-436	-367	-449



Slika 3.7.1. Hod karakterističnih godišnjih vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih vodostaja zabilježenih na postaji Rakonek (1969.-2018.) i njihov trend



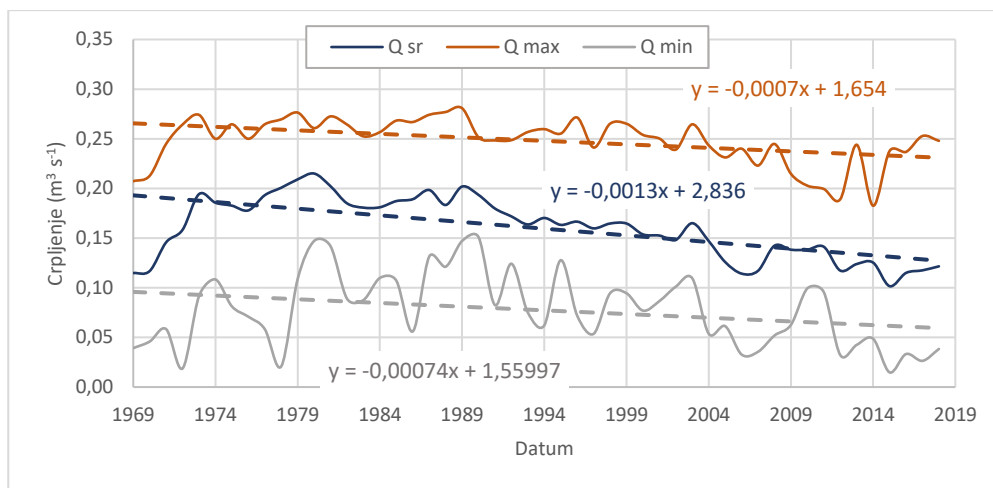
Slika 3.7.2. Unutar godišnja raspodjela prosječnih maksimalnih, srednjih i minimalnih mjesečnih vodostaja na postaji Rakonek (1969.-2018.)

Na hidrološkoj postaji Rakonek protoci se prate kao crpljeni, preljevni te ukupni koji zapravo predstavljaju ukupnu izdašnost izvora. U tablicama 3.7.2 – 3.7.4 prikazani su rezultati osnovne statističke obrade podataka maksimalnih, srednjih i minimalnih mjesečnih i godišnjih preljevni (1969. – 2018.), crpljenih (1962. – 2018. bez 1965. - 68.) i ukupnih protoka (1969. – 2018.) na postaji Rakonek. Na slikama 3.7.3 – 3.7.6 dani su prikazi trendova hoda karakterističnih srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih vrijednosti crpljenih, preljevni i ukupni protoka, kao i njihova unutar godišnja raspodjela.

Na slici 3.7.3 je vidljivo kako trend srednjih godišnjih količina crpljenja u analiziranom razdoblju opada iako je na samom početku puštanja sustava u pogon bio u porastu (do 1980. godine). Opadanje crpljenja očekivano je nakon što su u vodoopskrbu južne Istre uključeni vodoopskrbni sustavi Gradole i Butoniga. Maksimalno godišnje crpljenje s izvora zabilježeno je u kolovozu 1989. godine i iznosilo je čak $0,281 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Crpljenje se vrlo naglašeno povećava u ljetnim mjesecima zbog većih potreba za vodom turizma, stanovništva te navodnjavanja okućnica. S druge strane, minimalno zabilježeno crpljenje iznosilo je $0,015 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (studenj 2015.). No, osim spomenutog dnevnog minimuma, puno je indikativniji podatak da se minimalna srednja mjesečna crpljenja kreću između $0,041 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, u listopadu, pa do $0,118 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ u kolovozu.

Tablica 3.7.2. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti crpljenja (m^3s^{-1}) na postaji Rakonek u razdoblju od 1962. do 2018. godine (bez 1965. – 1968.)

Rakonek – Crpljenje (1962. – 2018. bez 1965. – 1968.)													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)													
Sr	0,134	0,137	0,137	0,142	0,153	0,175	0,206	0,207	0,168	0,147	0,139	0,135	0,158
Stdev	0,037	0,037	0,032	0,036	0,040	0,037	0,036	0,035	0,039	0,042	0,040	0,038	0,033
Cv	0,278	0,271	0,236	0,257	0,263	0,212	0,173	0,170	0,232	0,286	0,286	0,284	0,207
Max	0,218	0,210	0,204	0,211	0,214	0,229	0,252	0,258	0,247	0,233	0,217	0,221	0,215
Min	0,075	0,069	0,080	0,055	0,054	0,083	0,096	0,118	0,074	0,041	0,060	0,067	0,094
Maksimalni ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)													
Sr	0,158	0,163	0,162	0,172	0,185	0,215	0,236	0,236	0,201	0,175	0,161	0,157	0,243
Stdev	0,046	0,045	0,038	0,040	0,045	0,037	0,033	0,034	0,039	0,048	0,045	0,046	0,031
Cv	0,291	0,275	0,236	0,232	0,243	0,173	0,139	0,143	0,193	0,274	0,277	0,293	0,127
Max	0,244	0,248	0,238	0,253	0,248	0,265	0,276	0,281	0,274	0,257	0,243	0,240	0,281
Min	0,093	0,082	0,089	0,097	0,072	0,113	0,149	0,142	0,108	0,052	0,067	0,070	0,149
Minimalni ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)													
Sr	0,104	0,114	0,110	0,114	0,118	0,127	0,164	0,162	0,133	0,116	0,116	0,112	0,074
Stdev	0,039	0,035	0,034	0,038	0,041	0,042	0,046	0,045	0,049	0,042	0,041	0,037	0,038
Cv	0,375	0,309	0,311	0,335	0,349	0,329	0,279	0,275	0,365	0,357	0,356	0,332	0,514
Max	0,171	0,192	0,171	0,187	0,180	0,210	0,231	0,243	0,224	0,184	0,190	0,199	0,151
Min	0,019	0,054	0,026	0,024	0,021	0,023	0,026	0,032	0,027	0,028	0,015	0,039	0,015

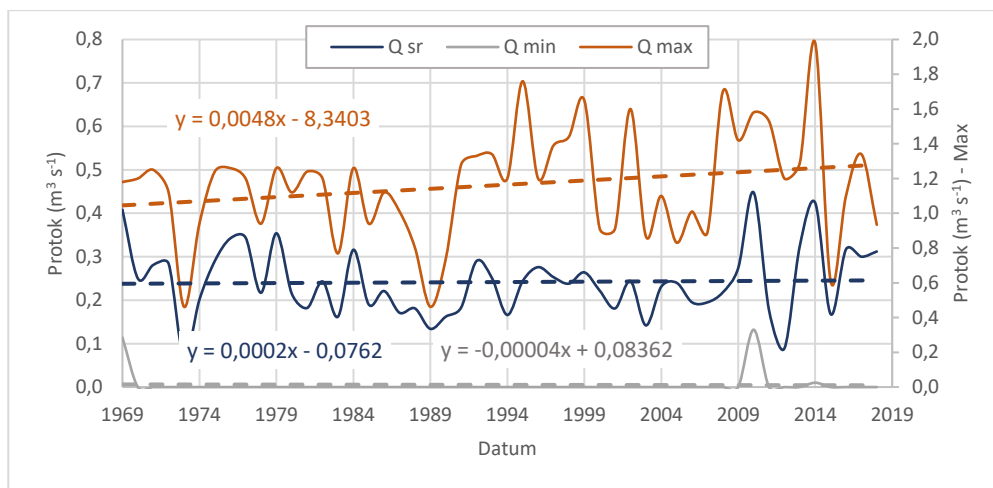


Slika 3.7.3. Hod karakterističnih godišnjih vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih crpljenja zabilježenih na postaji Rakonek (1969. -2018.) i njihov trend

Prikaz karakterističnih mjesečnih i godišnjih preljevnih protoka dan je u tablici 3.7.3 kao i slici 3.7.4. Vidljivo je da su se u svim kalendarskim mjesecima, osim u svibnju, javljale situacije presušivanja preljeva, ali i da u svim kalendarskim mjesecima ima i situacija s preljevanjima iz izvora.

Tablica 3.7.3. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti preljevnih protoka (m^3s^{-1}) na postaji Rakonek u razdoblju od 1969. do 2018. godine

Rakonek - Preljevni protok (1969. - 2018.)													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji ($m^3 s^{-1}$)													
Sr	0,359	0,404	0,374	0,339	0,279	0,166	0,067	0,039	0,077	0,153	0,298	0,344	0,242
Stdev	0,198	0,254	0,187	0,167	0,106	0,095	0,076	0,065	0,105	0,176	0,217	0,226	0,079
Cv	0,552	0,630	0,500	0,494	0,381	0,574	1,13	1,66	1,36	1,15	0,729	0,655	0,328
Max	0,945	1,38	0,759	0,848	0,581	0,398	0,243	0,265	0,452	0,678	0,723	0,90	0,448
Min	0	0	0	0	0,069	0	0	0	0	0	0	0	0,068
Maksimalni ($m^3 s^{-1}$)													
Sr	0,693	0,687	0,698	0,576	0,475	0,347	0,188	0,126	0,242	0,373	0,688	0,684	1,162
Stdev	0,345	0,383	0,370	0,305	0,210	0,175	0,162	0,201	0,251	0,355	0,426	0,407	0,314
Cv	0,498	0,558	0,530	0,529	0,443	0,503	0,862	1,598	1,04	0,954	0,619	0,594	0,270
Max	1,58	1,98	1,76	1,65	1,12	0,813	0,628	1,08	0,94	1,44	1,60	1,70	1,98
Min	0	0	0	0	0,189	0	0	0	0	0	0	0	0,462
Minimalni ($m^3 s^{-1}$)													
Sr	0,156	0,207	0,195	0,202	0,142	0,051	0,018	0,008	0,014	0,043	0,085	0,149	0,005
Stdev	0,123	0,171	0,121	0,129	0,096	0,070	0,039	0,028	0,040	0,082	0,112	0,118	0,024
Cv	0,790	0,825	0,619	0,637	0,679	1,38	2,17	3,39	2,90	1,92	1,31	0,790	4,769
Max	0,609	0,792	0,462	0,609	0,381	0,280	0,151	0,150	0,151	0,280	0,329	0,366	0,132
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Slika 3.7.4. Hod karakterističnih godišnjih vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih preljevnih protoka zabilježenih na postaji Rakonek (1969.-2018.) i njihov trend

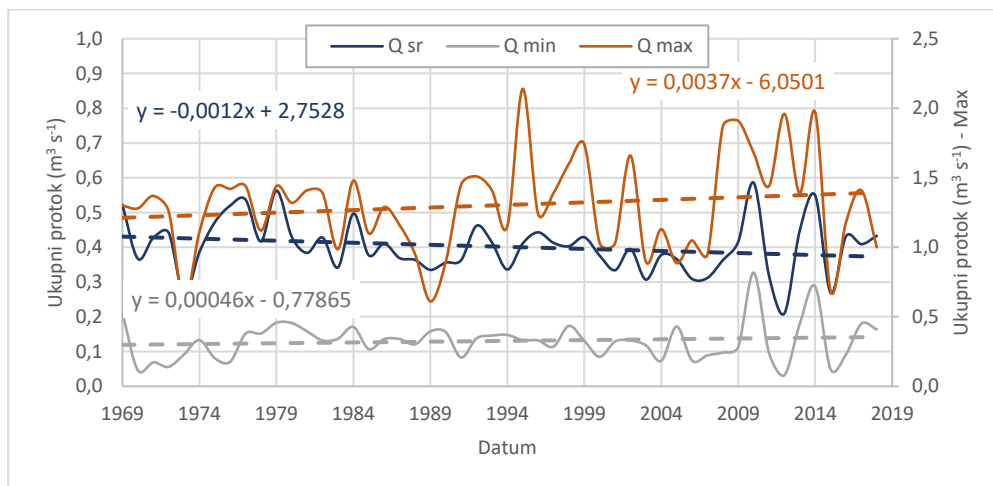
Izdašnost izvora ukupni je zbroj crpljenih i preljevnih količina izvorske vode. Kada nema preljeva, ukupni protok čine sama crpljenja. U takvim situacijama mora se uzimat u obzir da je to podatak uvjetovan režimom crpljenja (potrebom za vodom), a samo u manjoj mjeri prirodnim značajkama izvora – ukoliko se ne dosegnu maksimalni kapaciteti korištenja statičkih rezervi voda.

Tablica 3.7.4. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti ukupnih protoka ($m^3 s^{-1}$) na postaji Rakonek u razdoblju od 1969. do 2018. godine

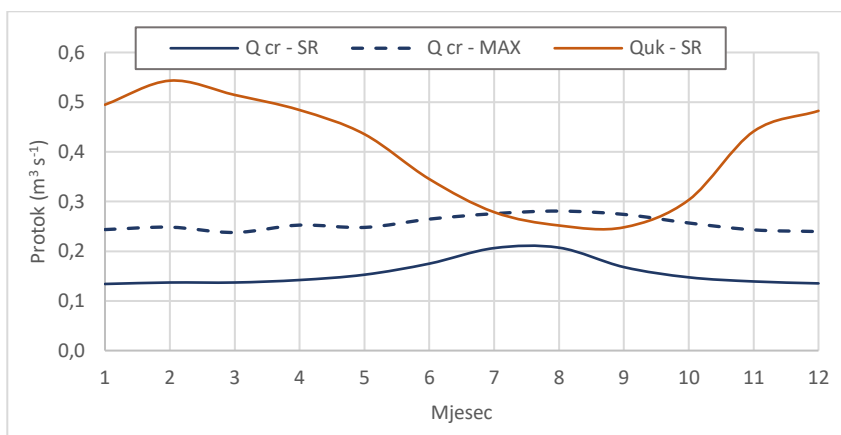
Rakonek - Ukupni protok (1969. - 2018.)													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji ($m^3 s^{-1}$)													
Sr	0,495	0,543	0,515	0,484	0,436	0,345	0,279	0,252	0,248	0,303	0,441	0,482	0,402
Stdev	0,202	0,250	0,183	0,168	0,102	0,090	0,069	0,062	0,101	0,181	0,218	0,225	0,077
Cv	0,407	0,459	0,355	0,348	0,23	0,26	0,25	0,25	0,41	0,60	0,494	0,466	0,193
Max	1,15	1,49	0,942	0,973	0,706	0,50	0,429	0,49	0,579	0,828	0,841	1,03	0,586
Min	0,134	0,112	0,104	0,108	0,215	0,127	0,145	0,129	0,088	0,112	0,135	0,11	0,21
Maksimalni ($m^3 s^{-1}$)													
Sr	0,815	0,823	0,818	0,694	0,597	0,484	0,361	0,341	0,399	0,512	0,819	0,809	1,30
Stdev	0,347	0,403	0,379	0,302	0,222	0,161	0,113	0,196	0,214	0,356	0,437	0,396	0,343
Cv	0,426	0,490	0,464	0,435	0,373	0,333	0,314	0,575	0,536	0,695	0,534	0,490	0,263
Max	1,68	1,97	2,14	1,74	1,26	0,925	0,684	1,40	1,07	1,60	1,96	1,87	2,14
Min	0,236	0,158	0,126	0,154	0,301	0,189	0,181	0,161	0,147	0,143	0,17	0,151	0,611
Minimalni ($m^3 s^{-1}$)													
Sr	0,303	0,356	0,348	0,364	0,326	0,247	0,223	0,188	0,172	0,184	0,225	0,289	0,131
Stdev	0,138	0,166	0,112	0,119	0,090	0,084	0,064	0,053	0,066	0,097	0,113	0,127	0,055
Cv	0,456	0,465	0,322	0,326	0,28	0,34	0,28	0,28	0,38	0,53	0,503	0,440	0,421
Max	0,802	0,890	0,610	0,678	0,494	0,399	0,395	0,369	0,340	0,446	0,479	0,519	0,327
Min	0,056	0,081	0,089	0,084	0,120	0,069	0,071	0,032	0,046	0,056	0,08	0,074	0,032

Prema danim sumarnim podacima (Tablica 3.7.4 i Slika 3.7.5), srednji godišnji ukupni protok za cijelo razdoblje iznosi $0,402 m^3/s$. Maksimalni ukupni protok zabilježen je u ožujku 1995. godine i

iznosio je $2,14 \text{ m}^3/\text{s}$, a minimalni u kolovozu vrlo sušne 2012. godine iznosio je $0,032 \text{ m}^3/\text{s}$ – no i taj podatak treba gledati u kontekstu režima crpljenja, a ne stvarnim dotocima ka izvorištu u situacijama postojanja precrpljivanja. Vidljivo je da srednji godišnji protoci imaju trend blagog opadanja protoka od $1,2 \text{ Lgod}^{-1}$, a maksimalni blagog porasta. Na Slici 3.7.6 vidljivo je da se najveće potrebe za crpljenjima tijekom ljetnih mjeseci (VI-VIII) javljaju onda kad su prosječne izdašnosti najmanje.



Slika 3.7.5. Hod karakterističnih godišnjih vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih ukupnih protoka zabilježenih na postaji Rakonek (1969.-2018.) i njihov trend



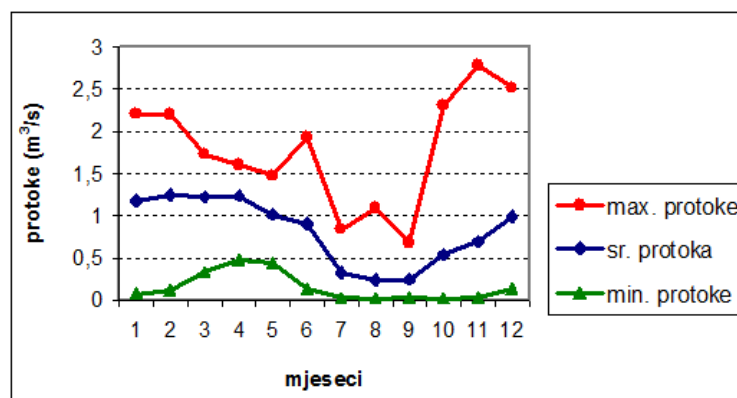
Slika 3.7.6. Unutar godišnja raspodjela srednjih i maksimalnih mjesečnih crpljenja i srednjih ukupnih protoka na postaji Rakonek (1969.-2018.)

3.7.2. Analiza rezultata monitoringa s ostalih izvorišta u slivu Raše

Hidrološki monitoring na području srednjeg toka rijeke Raše je, osim na izvoru Rakonek koji je uključen u sustav redovnog hidrološkog monitoringa koga provodi DHMZ, proveden tijekom relativno dugotrajnog razdoblja 1950.-80, te 1981./82. i na također stalnom izvoru Sv. Anton, od 2020. godine uključen u vodoopskrbni sustav Vodovoda Labin. Motrenja su bila nažalost s dosta prekida i uglavnom relativno skromnom tjednom učestalosti čitanja vodostaja. Slična hidrološka praćenja su tijekom višegodišnjeg razdoblja provedena i na stalnom izvoru Bolobani, također prepoznatom kao mogućem budućem potencijalnom izvorištu, ali su pouzdani podaci sačuvani samo za razdoblje 1981./82. Prikaz položaja tih izvora, koji su uključeni i u dopunski monitoring i u sklopu predmetnog dokumenta, dan je na Slici 2.1, a prikaz rezultata monitoringa – srednjih mjesečnih protoka na izvoru Sv. Anton u Tablici 3.7.5 te na Slici 3.7.7. Usporedni prikaz srednjih mjesečnih protoka tijekom 1-godišnjeg razdoblja srpanj 1981. - lipanj 1982. dan je u Tablici 3.7.6 i na Slici 3.7.8.

Tablica 3.7.5. Prikaz karakterističnih pokazatelja srednjih mjesečnih protoka na izvoru Sv. Anton (1960.-1980., 1981./82.) (Rubinić, 1999)

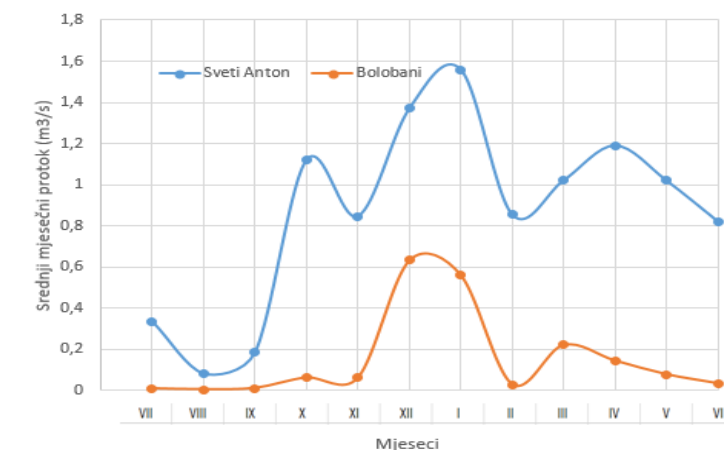
PAR.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	GOD.
Sred	1,179	1,240	1,224	1,232	1,012	0,905	0,318	0,238	0,245	0,536	0,691	0,991	0,814
STD	0,536	0,583	0,413	0,281	0,303	0,519	0,257	0,297	0,255	0,628	0,821	0,728	0,536
Cv	0,455	0,470	0,337	0,228	0,300	0,574	0,808	1,247	1,037	1,173	1,189	0,735	0,333
Max	2,21	2,20	1,73	1,60	1,48	1,93	0,837	1,09	0,679	2,31	2,78	2,52	1,580
Min	0,069	0,116	0,333	0,472	0,438	0,127	0,028	0,016	0,023	0,011	0,027	0,134	0,502



Slika 3.7.7. Prikaz karakterističnih srednjih mjesečnih protoka na izvoru Sv. Anton (1960.- 1980., 1981/82.) (Rubinić, 1999)

Tablica 3.7.6. Usporedni prikaz srednjih mjesečnih protoka izvora Bolobani i Sv. Anton (1981./82.) (Rubinić, 1999)

IZVOR	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	GOD,
Bolobani	0,563	0,029	0,221	0,145	0,078	0,034	0,009	0,006	0,011	0,062	0,061	0,634	0,156
Sv. Anton	1,56	0,854	1,02	1,19	1,02	0,821	0,334	0,08	0,185	1,12	0,846	1,37	0,868



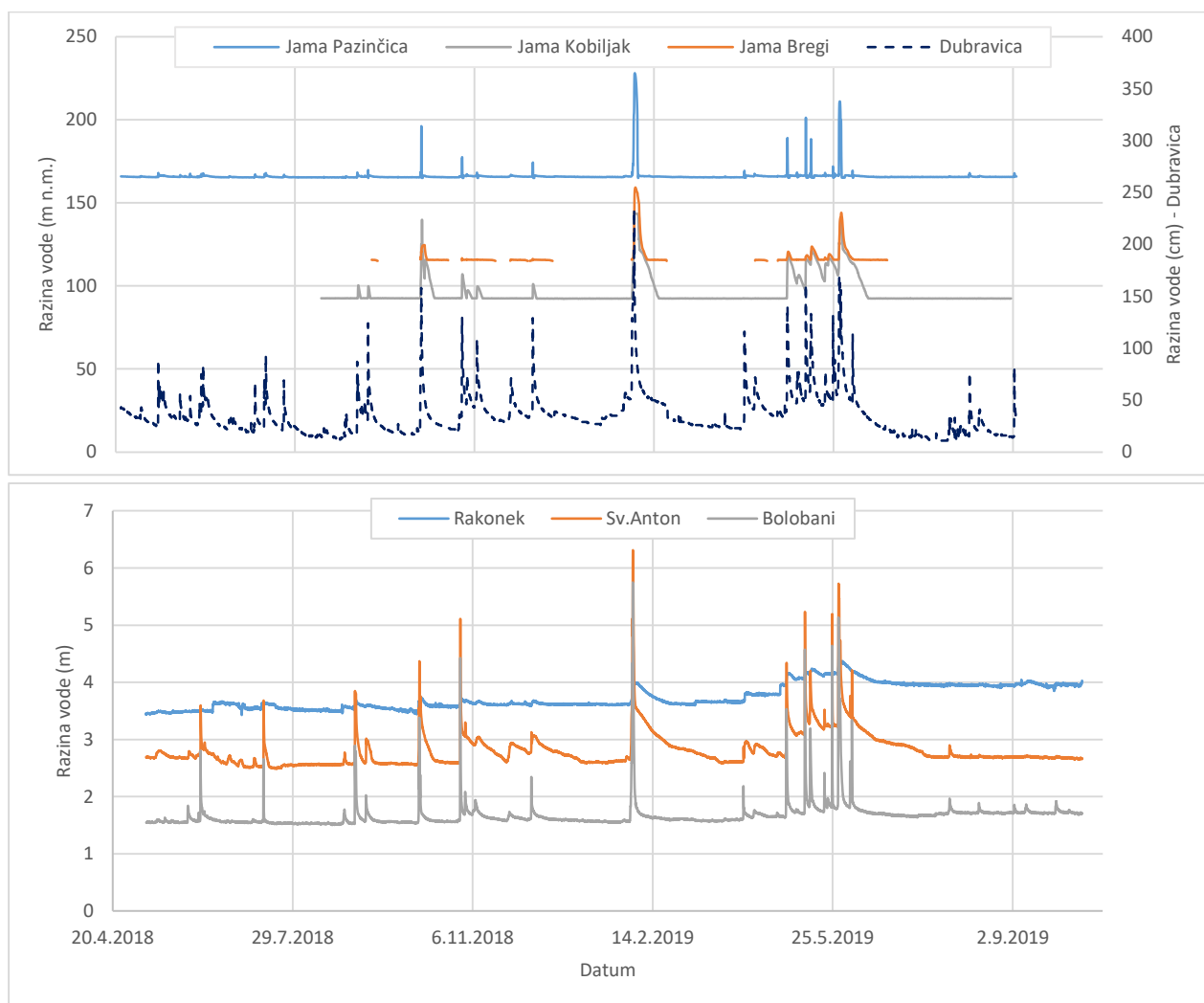
Slika 3.7.8. Usporedni prikaz srednjih mjesečnih protoka izvora Bolobani i Sv. Anton (1981./82.)

Iz danih je podataka vidljivo da je izvor Sv. Anton po ukupnoj bilanci/količini srednjeg godišnjeg protoka vrlo značajno izvorište sa srednjim godišnjim protokom od $0,814 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, no s vrlo značajnim godišnjim varijacijama u rasponu između $0,502$ i $1,58 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Još su veće varijacije u vrijednostima srednjih mjesečnih protoka, pa tako u globalno najsušnijem kolovozu zabilježeni srednji mjesečni protoci su varirali u rasponu između $0,016$ i $1,09 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Za napomenuti je da se radi o preljevnim izdašnostima toga izvora, koje u ekstremno sušnim prilikama mogu poprimiti još niže vrijednosti. No, kraćim razdobljima forsiranja toga izvora u smislu precrpljivanja njegovih statičkih rezervi, mogu se za potrebe vodoopskrbe osigurati višestruko veće vrijednosti minimalnih voda (poglavlje 3.2.3).

Izvor Bolobani ima višestruko manju izdašnost, ali se kao i kod izvora Sv. Anton očekuje da bi se njegovim precrpljivanjem mogle osigurati dodatne rezerve voda za potrebe vodoopskrbe jer minimalni protok kao što je $0,004 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, koliko je zabilježeno 1981./82. (Rubinić, 1999) ne predstavlja neki ozbiljniji vodni potencijal. Tijekom spomenutog razdoblja srpanj 1981. – lipanj 1982., u organizaciji DHMZ-a bio je organiziran monitoring i na više drugih povremenih izvora na spomenutoj dionici srednjeg toka desne obale rijeke Raše (Sušnica, Sušak, Češljari).

3.7.3. Analiza međudnosa hidroloških prilika u slivu Pazinčice i izvorištima u dolini Raše

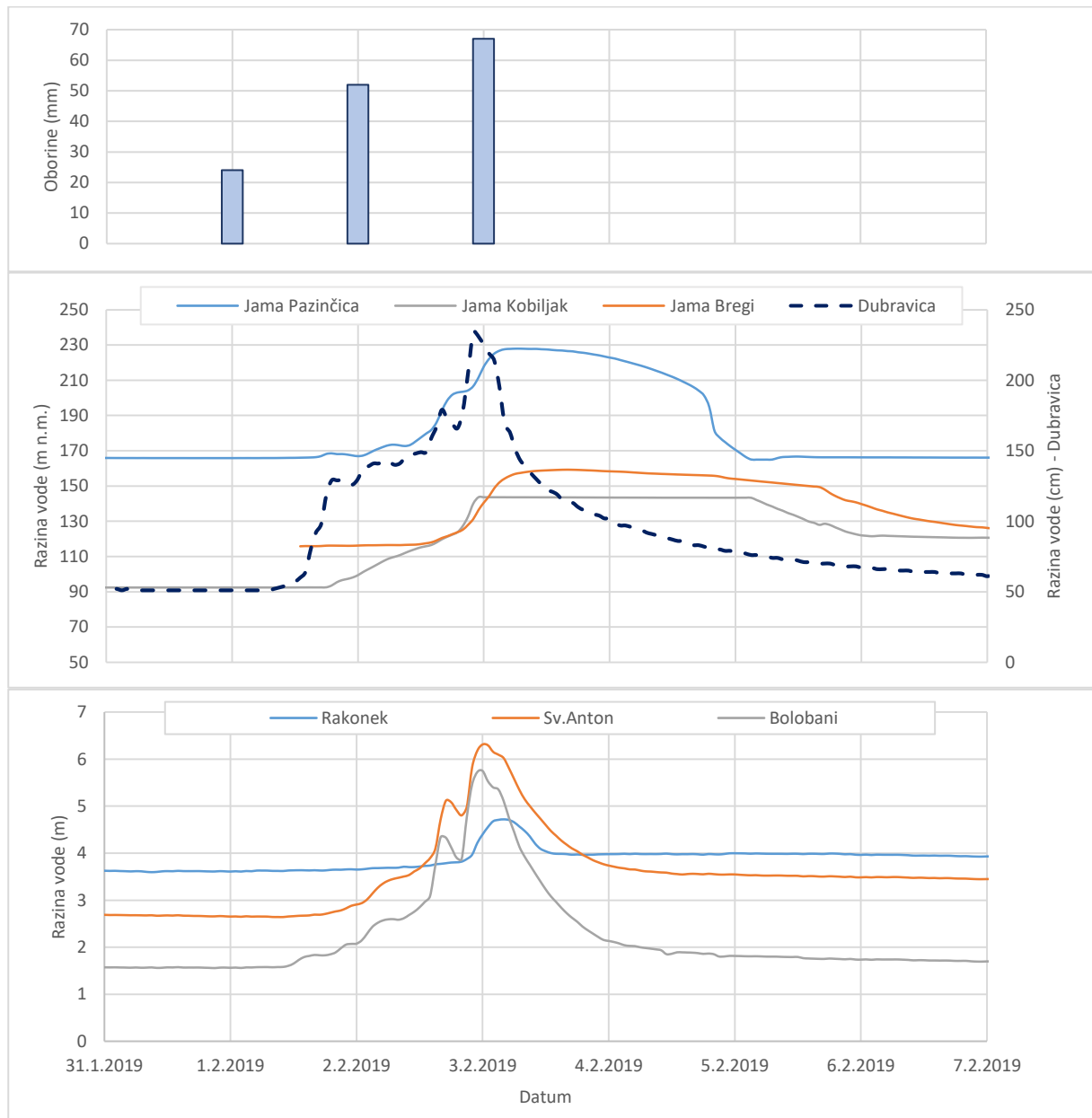
Provedba dopunskog monitoringa tijekom predmetnog projekta istraživanja voda sliva Pazinčice i s njome povezanih vodnih resursa u dolini rijeke Raše omogućila je po prvi puta i generalno sagledavanje funkcioniranja toga hidrološkog sustava koga čine vode Pazinčice, podzemne vode središnjeg istarskog vodonosnika, koje su se pratile u ponoru te jamama Kobiljak i Bregi, kao i izvorima u dolini rijeke Raše (Slika 2.1.1). Na slikama 3.7.9 – 3.7.11 dan je prikaz rezultata opažanja satnih vrijednosti razina vode na izvorima u dolini Raše i u jami Pazinčica, Kobiljak i Bregi za cijelo razdoblje monitoringa, te posebno za razdoblja tijekom dva velika vodna vala. Radi usporedbe, na grafovima su dani i satni podaci na hidrološkoj postaji Dubravica, te dnevne oborine sa postaje Pazin. Veliki vodni val tijekom promatranog razdoblja zabilježen je 3.2.2019. godine, te je koincidirao sa značajnim podizanjem razine vode u vodonosniku/jamama, kao i na svim promatranim izvorima.



Slika 3.7.9. Prikaz rezultata opažanja satnih vrijednosti razine vode na izvorima u dolini Raše, u jamama Pazinčica, Kobiljak i Bregi te na hidrološkoj postaji Dubravica u razdoblju 23.4.2018. – 10.10.2019.

Kao što vidimo na slici 3.7.10, u svega tri dana (1.2.-3.2.2019.) palo je 143 mm oborina na postaji Pazin te značajno podiglo razinu vode na svim mjernim lokacijama. Razina vode u jami Pazinčica povećala se za 62 metra do maksimalne razine od 227,92 m n.m., u jami Kobiljak za 50 metara, dok se u jami Bregi za oko 44 metara. Sa slike vidimo da je razina vode u jami Kobiljak stala na 143 m n.m., tj. 50 metara iznad automatskog mjeraca, a to je razlog njegove maksimalne razine koju može registrirati. Iz toga razloga, točna razina vode u jami Kobiljak u to vrijeme nam nije poznata. Na izvoru Rakonek razina vode povećala se za 1,10 m, dok je na izvorima Sv. Anton i Bolobani nešto više, za 3,66 i 4,18 m. No, očito je da do podizanja razine vode u vodonosniku ne dolazi uslijed dominantnih dotoka Pazinčice putem Pazinske jame, već se zapravo podzemne vode na širem prostoru središnjeg istarskog vodonosnika podižu uslijed povećane infiltracije oborinskih voda u podzemlje na širem tom prostoru. To sve skupa koincidira s koncentriranim napajanjima vodama Pazinčice putem njezine ponorske zone, kao i podiže opću razinu voda na tom prostoru iz razloga što se radi o vrlo značajnim količinama voda koje koncentrirano utiče u podzemlje.

Maksimalna razina vode s povećanjem od 1,83 metra, prvo je zabilježena na hidrološkoj postaji Dubravica. Nakon samo 2 sata maksimalna razina vode zabilježena je na izvorima Sv. Anton i Bolobani, nakon 6 sati na izvoru Rakonek, nakon 8 sati u jami Pazinčica te nakon 18 sati u jami Bregi. Očito je da postoje vrlo snažni privilegirani podzemni tokovi pukotinske poroznosti koji brzo mijenjaju hidrauličke uvjete u podzemlju.

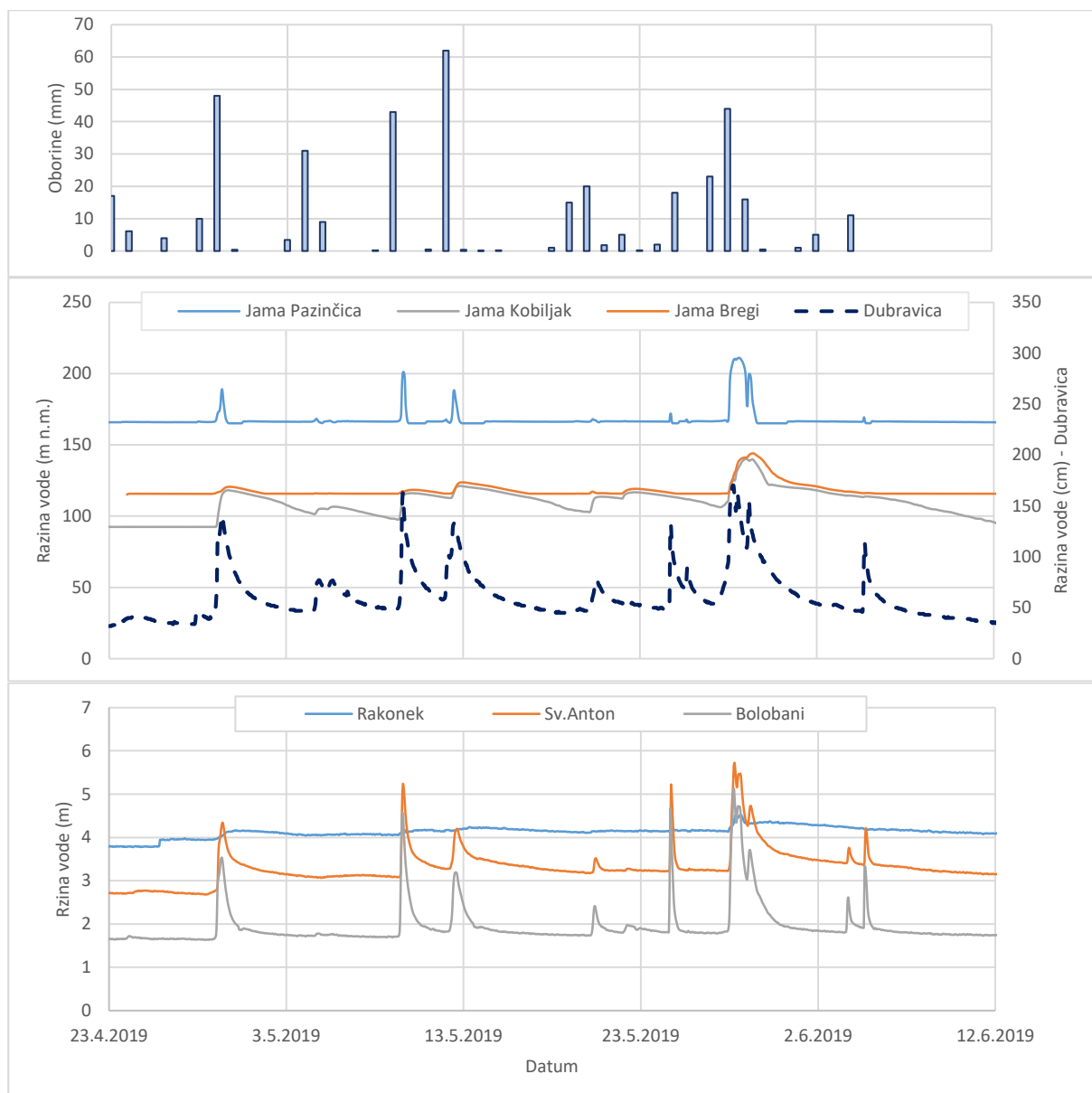


Slika 3.7.10. Prikaz rezultata opažanja satnih vrijednosti razine vode na izvorima u dolini Raše, u jamama Pazinčica, Kobiljak i Bregi, na hidrološkoj postaji Dubravica te dnevnih oborina na postaji Pazin u razdoblju 1.2.2019. – 6.2.2019.

U razdoblju od 23.4.2019. do 4.6.2019. (42 dana) na postaji Pazin zabilježeno je 399 mm oborina. Ta velika količina oborina nekoliko puta je značajno podizala razinu vode na svim mjernim lokacijama, no ni na jednoj lokaciji nije se podigla razina kao tijekom velikog vodnog vala u veljači. Sa slike vidimo kako sve lokacije vrlo brzo reagiraju na palu oborinu, ali isto tako se i razina vrlo

brzo vrati na prethodnu (unutar 1-2 dana). Jedino u jamama Kobiljak i Bregi razina podzemne vode sporije opada.

Na temelju dinamike kolebanja podzemnih voda u speleološkim objektima na dionici ponor Pazinčice – ponor Bregi – ponor Kobiljak, može se zaključiti da je vrlo vjerojatni uspor uslijed podizanja razina podzemnih voda prisutan i u Ponoru Pazinčice, a što onda utječe na njegov kapacitet koji se mijenja tijekom vremena/trajanja neke kišne epizode.



Slika 3.7.11. Prikaz rezultata opažanja satnih vrijednosti razine vode na izvorima u dolini Raše, u jamama Pazinčica, Kobiljak i Bregi, na hidrološkoj postaji Dubravica te dnevni oborina na postaji Pazin u razdoblju 23.4.2019. – 12.6.2019.

3.7.4. Pojave mutnoće na izvoru Rakonek

Pojava mutnoće na ovom tipičnom krškom izvoru javlja se u vodnijim razdobljima, nakon obilnih oborina na okolnom području te na području sliva Pazinčice. Ispiranjem površinskog i podpovršinskog sloja nakon sušnijeg razdoblja prihranjuje se podzemlje povećanim unosom suspendiranih tvari, koje u konačnici, uz povećanje izdašnosti, rezultiraju i povećanjem mutnoće izvorske vode. Pri tome znatan doprinos daju i ranije sedimentirane čestice u podzemnim okršenim tokovima koje se, pri promjeni hidroloških i hidrauličkih prilika u podzemlju i pri pojavi značajnijih oborina i otjecanja, zbog povećanih brzina podzemne vode i njezine veće kinetičke energije, ponovno pokreću i pridonose većoj zamućenosti podzemnih voda na mjestima istjecanja.

Kako su već na početku rada vodocrpilišta Rakonek uočene pojave iznimnih mutnoća na tom izvoru, od 1969. godine počela se pratiti njihova pojava, a najstariji sačuvani podaci o mutnoćama potiču od 1971. godine. Mjerenja su vršena standardnim turbidometrom, a očitavana okularnom procjenom vidljivosti mjernog vretena. Registrirane vrijednosti tada su izražavane jedinicom miligrama po litri (mg l^{-1}) silikatne zemlje (JVP istarskih slivova, 1993 b). Važno je napomenuti da je ovom metodom bilo nemoguće mjeriti mutnoću reda veličine veće od 3000 mg l^{-1} silikatne zemlje, što prema današnjem izražavanju iznosi približno 1200 NTU jedinica. Vrijednosti veće od tih samo su orijentacijskog karaktera.

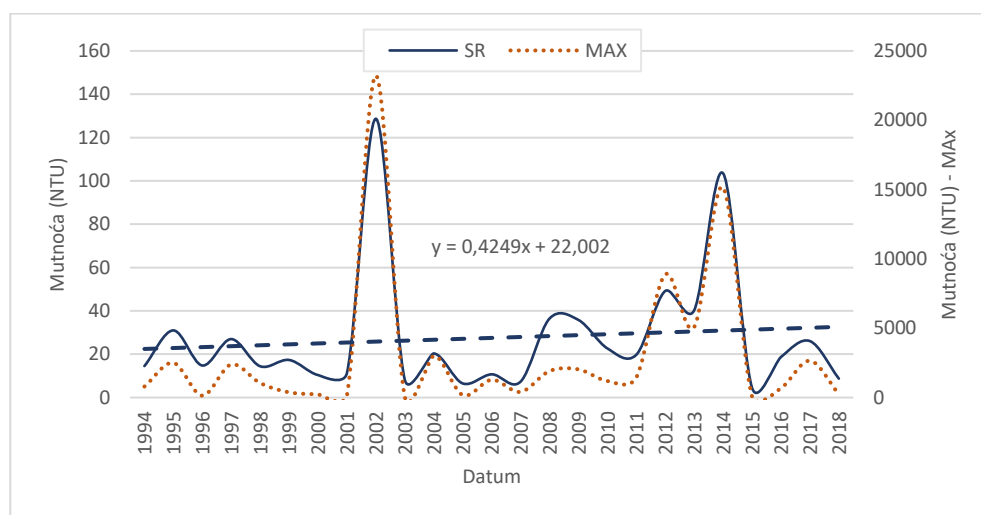
Od 1990. godine mjerenje mutnoće vrši se turbidometrom koji mutnoću izražava u NTU jedinicama, a maksimalni iznos koji je ovaj uređaj mogao zabilježiti iznosi 2000 NTU jedinica. Tako da su mutnoće veće od 2000 NTU orijentacijskog karaktera, s obzirom da su dobivene analitičkim putem.

Početak devedesetih godina mutnoća se nije pratila kontinuirano već su registrirane samo povećane vrijednosti što je utvrđeno uvidom u pogonske dnevnike. Analizirajući razdoblje od 1994. godine, od kada su dostupne dovoljne količine podataka o mutnoći vode na izvoru za adekvatnu analizu te pojave, do 2018. godine, dobivene su karakteristične vrijednosti i godišnji hod srednjih i maksimalnih mutnoća (Slika 3.7.11). Vidljivo je da i srednje i maksimalne mutnoće voda izvora Rakonek pokazuju trend njihova porasta. U tablici 3.7.7 prikazani su rezultati osnovne statističke obrade podataka maksimalnih, srednjih i minimalnih mjesečnih i godišnjih mutnoća za razdoblje od 1994. do 2018. godine. Srednja godišnja vrijednost mutnoće vode za to razdoblje iznosi 28 NTU-a, maksimalna 129 NTU-a, a minimalna 4,5 NTU-a, što je više od 4 NTU-a kolika je maksimalna dozvoljena granica za pitku vodu. Ukupan raspon pojava mutnoća je između 0,4 NTU i čak 23.220 NTU, što je iznimno velika količina suspendiranih tvari u izvorskim vodama.

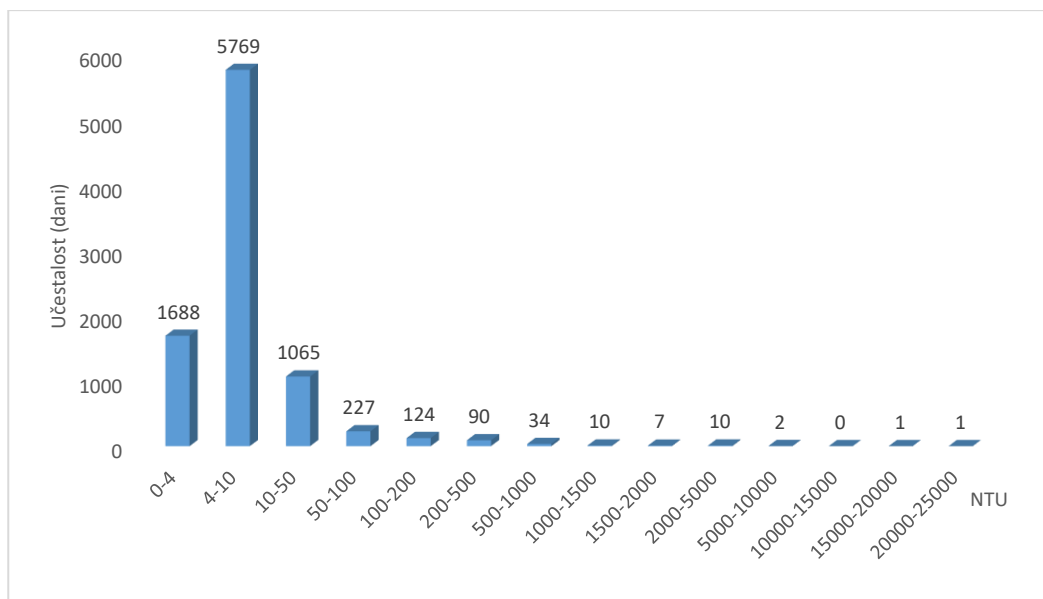
Analizirana je učestalost pojavljivanja mutnoća tijekom 24 godina (9028 dana), što je prikazano na slici 3.7.12. Unutar tog razdoblja podaci o registriranoj vrijednosti mutnoće nisu bili dostupni za 103 dana (uglavnom tijekom 1994. godine). U tablici 3.7.8 su dane karakteristične vrijednosti mutnoća za spomenuto razdoblje.

Tablica 3.7.7. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti mutnoća (NTU) na postaji Rakonek u razdoblju od 1994. do 2018. godine

Rakonek - mutnoće (1994. - 2018.)													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji (NTU)													
Sr	24	44	32	15	7,0	7,3	5,1	45	5,3	8,8	80	57	28
Stdev	31	79	59	23	7,2	11	1,8	198	2,5	20	179	92	29
Cv	1,27	1,80	1,87	1,56	1,02	1,49	0,345	4,42	0,469	2,27	2,24	1,60	1,06
Max	150	514	248	99	146	77	10	993	14	105	679	396	129
Min	2,9	3,7	4,2	4,3	3,4	2,8	2,8	3,1	2,7	2,8	2,8	2,5	4,5
2018	36,6	10,4	22,8	6,5	3,4	3,1	2,8	3,1	3,6	4,6	4,6	3,2	8,7
2019	2,9	514	7,6	5,1	146	77	5,6	4,6	4,2				
Maksimalni (NTU)													
Sr	276	408	267	67	16	35	9,3	938	16	56	1258	542	3004
Stdev	716	1072	648	169	35	134	9,1	4642	23	207	3499	921	5367
Cv	2,59	2,63	2,43	2,53	2,15	3,82	0,979	4,95	1,49	3,67	2,78	1,70	1,79
Max	3450	5900	2500	792	1720	678	48	23220	121	1047	15150	3011	23220
Min	3,5	4,0	5,0	4,9	3,9	3,3	4,0	4,0	3,8	3,0	3,8	3,1	48
2018	255	16,3	94	11,6	3,9	3,4	4,2	6,7	18	17,3	6,7	4,2	255
2019	3,5	5900	96	28	1720	487	6,8	6,1	9,8				
Minimalni (NTU)													
Sr	5,5	6,5	5,4	4,7	4,4	4,0	4,1	3,9	3,4	3,1	3,7	5,0	2,6
Stdev	2,8	7,5	2,6	1,6	1,4	1,0	1,4	1,1	1,0	0,9	1,2	2,6	0,80
Cv	0,503	1,14	0,475	0,339	0,322	0,247	0,340	0,284	0,308	0,296	0,335	0,511	0,311
Max	14	41	15	8,0	18	6,1	8,1	6,0	5,0	5,0	7,8	13,2	4,0
Min	2,5	2,6	3,0	0,4	2,2	2,2	2,2	2,2	1,0	1,0	2,1	2,2	0,40
2018	5,2	5	6,5	4	3	2,8	2,2	2,2	2,3	2,3	3,3	2,7	2,2
2019	2,5	2,6	4	3,4	18	5,2	4,6	3,8	3,2				



Slika 3.7.12. Hod srednjih i maksimalnih godišnjih mutnoća na izvoru Rakonek (1994. - 2018.)



Slika 3.7.13. Pojava mutnoće na izvoru Rakonek (1994. – 2018.)

Tablica 3.7.8. Analiza broja dana s određenom mutnoćom (1994. – 2018.)

NTU	>4	>10	>20	>50	>100	>500	>1000
Sr	250,0	59,7	37,0	19,7	11,1	2,6	1,2
Stdev	86	29	22	14	11	3	2
Cv	0,34	0,49	0,59	0,73	0,95	1,23	1,38
Max	348	115	99	66	48	12	7
Min	87	9	5	0	0	0	0

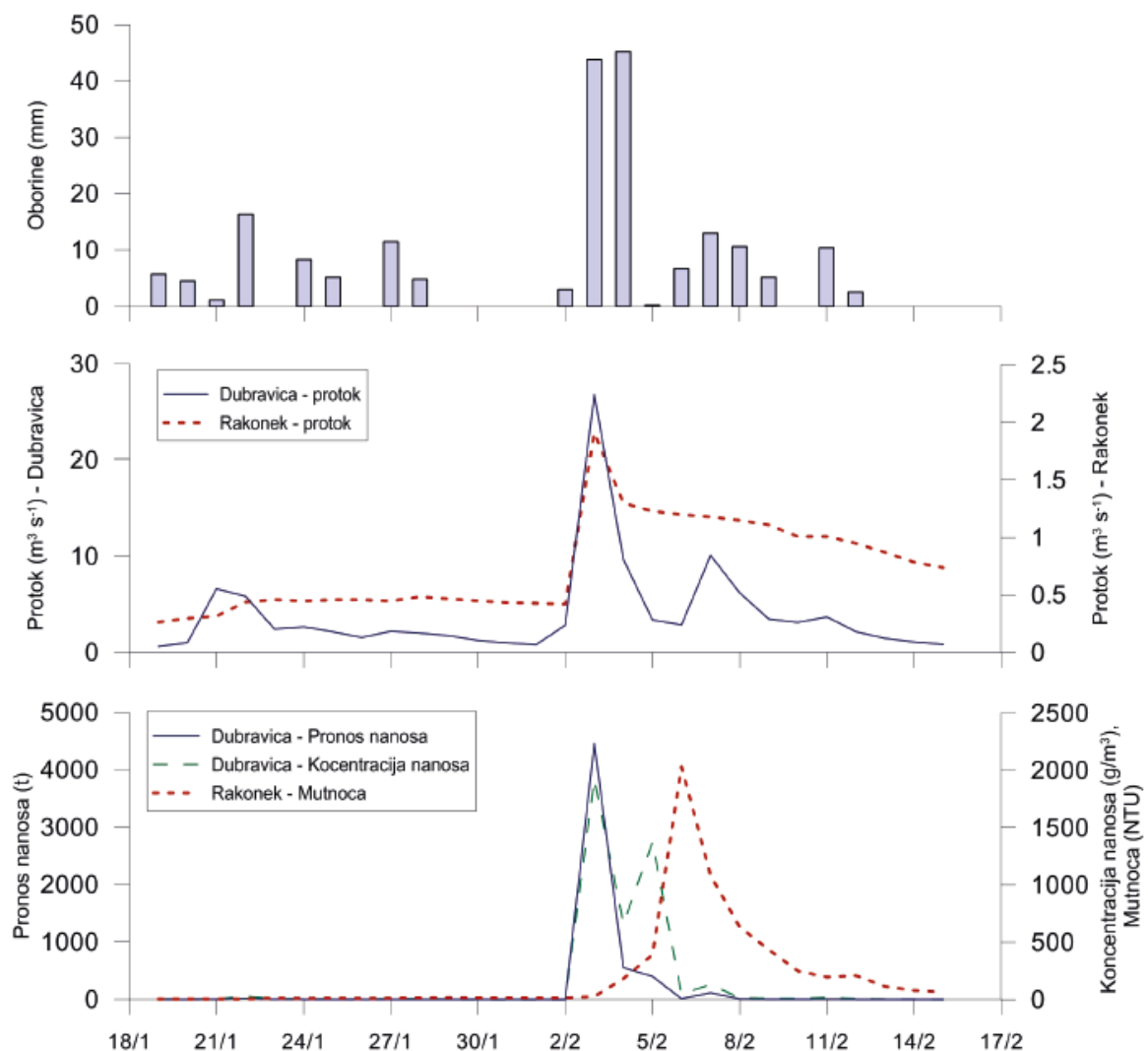
Kao što vidimo iz tablice i grafova, mutnoća je vrlo česta pojava na izvoru Rakonek, te u razdoblju od 1994. do 2018. u prosjeku čak 250 dana godišnje mutnoća je veća od 4 NTU. Mutnoća izvorišne vode veća od 10 NTU jedinica pojavljuje se u prosjeku 60 dana godišnje, a veća od 20 NTU 37 dana godišnje. Godine 2015. i 2007. bilo je samo 5, odnosno 7 dana da je mutnoća veća od 20 NTU. Suprotni ekstrem nosi 2014. godina, koja je ujedno i najvodnija u promatranom razdoblju, sa maksimalnim brojem dana mutnoće veće od 10, 20, 50 i 100 NTU jedinica. Također, takve mutnoće najčešće se pojavljuju u uzastopnim danima, kroz jesen i zimu.

Pojava ekstremnih mutnoća vode, reda veličine veće od 1000 NTU jedinica, u prosjeku se pojavljuje jednom godišnje, a maksimalan broj dana bio je 2002. godine i to čak 7. U cijelom razdoblju opažanja 2015. godina rezultirala je izrazito čistom sirovom vodom. Čak 356 dana te godine izvorišna voda bila je mutnoće manje od 10 NTU, a dan s maksimalnom mutnoćom (74 NTU) zabilježen je u veljači s ujedno jedinom situacijom te godine od 9 uzastopnih dana s mutnoćom većom od 10 NTU jedinica. Izrazita suprotnost tome je samo godina ranije. Trećinu 2014. godine (115 dana) mutnoća sirove vode je prelazila 10 NTU jedinica. Ove dvije godine mogu se jasno uočiti i na slici 3.7.11 koja prikazuje hod srednjih i maksimalnih godišnjih mutnoća.

3.7.5. Modeliranje pojava mutnoća na izvoru Rakonek

Modeliranje pojava mutnoća na izvoru Rakonek važno je za unaprjeđenje operativnog upravljanja ovim izvorom u smislu da se na temelju informacija o stanju na izvoru kao i zabilježenim, a moguće i prognoziranim hidrološkim prilikama, unaprijed predvide potencijalne problematične situacije sa mogućim promjenama mutnoća te optimizira rad postrojenja za kondicioniranje kao i definira optimalna dinamika crpljenja.

Povezanost stanja hidroloških prilika na Pazinčici i izvoru Rakonek vidljivo je na slici 3.7.14. Vodni val Pazinčice iz veljače 2009. godine, praćen s iznimno velikim dnevnim pronosom nanosa od 4461 t, inicirao je nakon tri dana i pojavu maksimalne mutnoće na izvoru Rakonek od 2033 NTU-a. Pojava mutnoće na ovom izvoru javlja se u vodnijim razdobljima, nakon obilnih oborina, koje uz povećani donos nanosa u podzemlje površinskim tokom Pazinčice kroz ponorsku zonu, dinamiziraju podzemno protjecanje koje pokreće u krškom podzemlju i ranije sedimentirani nanos.



Slika 3.7.14. Prikaz dnevnih podataka koncentracije i pronosa nanosa na postaji Dubravica – Pazinčica, mutnoća vode na postaji Rakonek, protoka na postajama Dubravica i Rakonek te oborina na postaji Pazinčica (19.1.2009. – 15.2.2009.)

Zbog složenosti međuodnosa mutnoća i ostalih hidroloških atributa, pri analizama pojava povećanih mutnoća u vodama izvora Rakonek primijenjena je dubinska analiza podataka. Za modeliranje odabranim tehnikama inteligentne obrade korišten je WEKA programski alat (WEKA, 2017) za strojno učenje. Na taj način omogućuje se da se kvantiteta određene velike količine podataka pretvori u kvalitetnu interpretaciju koja nadalje rezultira novim znanjem. Tako dobiveni podaci uvelike mogu poboljšati saznanja o pojavama ekstremnih mutnoća, njihove povezanosti s hidrološkim pojavama na površini i u podzemlju te vremensko kašnjenje. Također, rezultatima ovako provedenog ispitivanja moguće je prognozirati izvanredne situacija.

Modeliranje se provodilo na dva načina formiranja modela i testiranja podatka. Prvi način temelji se na pristupu da model trenira na jednom dijelu podataka, a zatim testira na drugom nezavisnom dijelu podataka. Drugi je pak pristup da se model trenira na cjelovitom nizu, no ne i na svim podacima već model sam odabire dio podataka na kojima će biti provedeno treniranje i na osnovu njega generiranje samog modela, a da se pri tome ne zna točno na kojim podacima je program trenirano, a na kojim testirao. Primijenjen je odnos (treniranje – testiranje) 80% – 20%. Usvojeni tipovi modela su model regresijskog stabla odlučivanja (*Trees.M5P*) i neuronskih mreža (*Multilayer Perceptron*). Pri modeliranju su korišteni slijedeći procjenitelji dobrote prilagođavanja modeliranih i opaženih podataka: koeficijent korelacije, srednja i relativna apsolutna greška.

Za generiranje modela odabrane ulazne varijable iz razdoblja od 1994. do 2018. godine obuhvatili su dnevne podatke s 20 odabranih atributa. Uz mutnoće, to su vodostaji, ukupni protok te oborine na području Rakoneka, a s područja sliva Pazinčice oborine, protok i pronos nanosa. Za sve attribute dodatno su uključena i prethodna stanja kako bi se ispitaio utjecaj prethodnih hidroloških stanja na pojavnost velikih mutnoća. Za oborine na postajama Pazin i Rakonek uključeni su još i atributi oborina prethodni dan te ukupna oborina pala između drugog i petog dana. Dok su za sve ostale attribute dodatno uključeni prethodni dani i srednje vrijednosti između drugog i petog dana, te za vodostaje na Rakoneku još i srednja vrijednost između šestog i petnaestog dana prije.

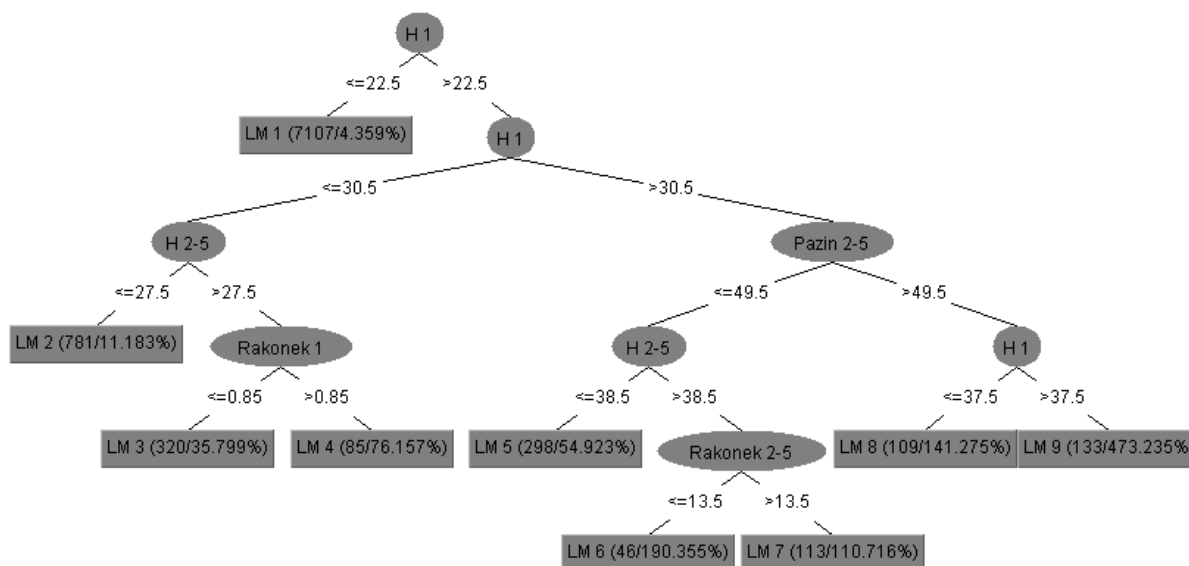
Prilikom modeliranja važno je uočiti međusobni utjecaj analiziranih atributa. Da bi se adekvatno provela analiza, od velikog je značaja odabir određenih atributa za modeliranje, odnosno njihov utjecaj na mutnoću. Modeliranje je napravljeno sa različitim brojem atributa (20 i 11) i sa različitim pragovima maksimalnih registriranih mutnoća kako bi dobili što bolje rezultate te kako bi se mogle napraviti što bolje predikcije pojave velikih mutnoća.

Kada su sve registrirane mutnoće korištene u modeliranju, u razdoblju od 1994. do 2018. (8998 dana) testiralo se na 1800 dana, kada su korišteni podaci s maksimalnim mutnoćama do 3000 NTU testiralo se na 1978 dana, te kada su korišteni podaci s maksimalnim mutnoćama do 1000 NTU testiralo se na 1793 dana. U tablici 3.7.9 dane su vrijednosti koeficijenta korelacije, srednje apsolutne greške i relativne apsolutne greške pri spomenutim modeliranjima. Iz tablice vidimo da korištenjem većeg broja atributa (20) koeficijent korelacije je jako mali (0,188), no kada se broj atributa smanji na 11, vidimo da je korelacijska povezanost relativno dobra. Srednja apsolutna pogreška i dalje je prisutna ali se, ovisno o klasifikatoru, kreće od 10 do 19 NTU jedinica. Također može se uočiti bolja prilagodba klasifikatora *Trees.M5P* za sva modeliranja. Iz tablice vidimo da se model od 11 atributa i s maksimalnom mutnoćom do 3000 NTU najbolje prilagođava. Iz tog razloga u nastavku će biti prikazani rezultati sa tim parametrima.

Tablica 3.7.9. Vrijednosti koeficijenta korelacije, srednje apsolutne greške i relativne apsolutne greške

	Broj atributa	Koeficijent korelacije	Srednja apsolutna pogreška (NTU)	Relativna apsolutna pogreška (%)
Sve registrirane mutnoće				
Trees.M5P	20	0,188	22,3	58,5
Multilayer perceptron	20	/	/	/
Maksimalna mutnoća do 3000 NTU				
Trees.M5P	11	0,80	12,8	46,2
Multilayer perceptron	11	0,751	18,9	68,3
Maksimalna mutnoća do 1000 NTU				
Trees.M5P	11	0,726	9,6	50,1
Multilayer perceptron	11	0,673	10,4	54,0

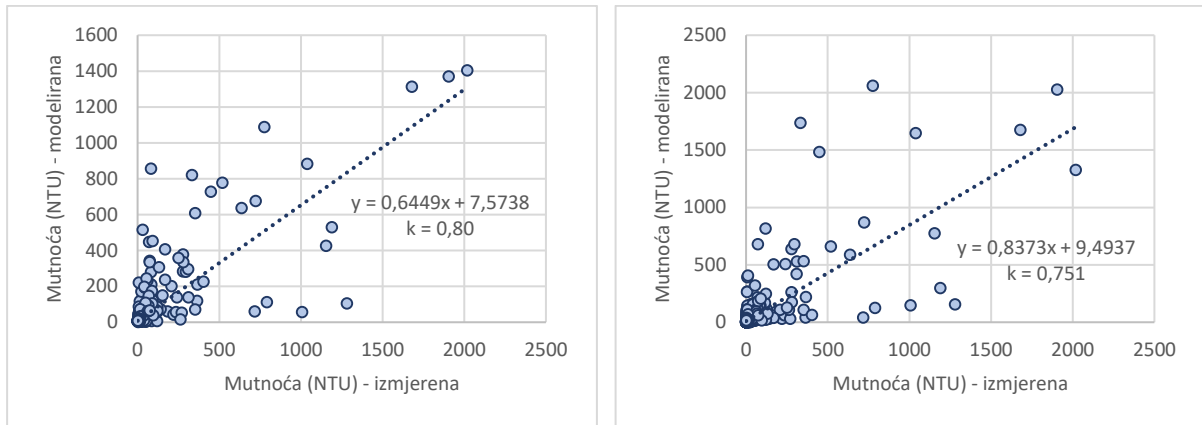
Na slici 3.7.15 dano je regresijsko stablo odlučivanja za procjenu srednjih dnevnih mutnoća na izvoru Rakonek pri 11 atributa i s maksimalnom mutnoćom od 3000 NTU-a. U čvorovima stabla odlučivanja su imena atributa koja su ključna za odlučivanje, a grane koje izlaze iz svakog čvora predstavljaju uvjete koje treba zadovoljiti da bi se primjer usmjerio tom granom. Grananje stabla završava sa krajnjim čvorovima, kojih u ovom slučaju ima devet. Ti čvorovi određuju klasu kojoj pripadaju primjeri koji su s obzirom na vrijednost svog atributa razvrstani u taj određeni čvor. U ovom slučaju postoji 6 atributa, a to su: vodostaj na Rakoneku dan prije (H1), srednji vodostaj na Rakoneku dva do pet dana prije (H2-5), oborine na Rakoneku dan prije (Rakonek 1), te ukupne oborine dva do pet dana prije na postajama Rakonek i Pazin (Rakonek 2-5 i Pazin 2-5). Klase krajnjih čvorova (LM 1-9) označavaju formule za dobivanje dnevnih mutnoća na izvoru Rakonek.



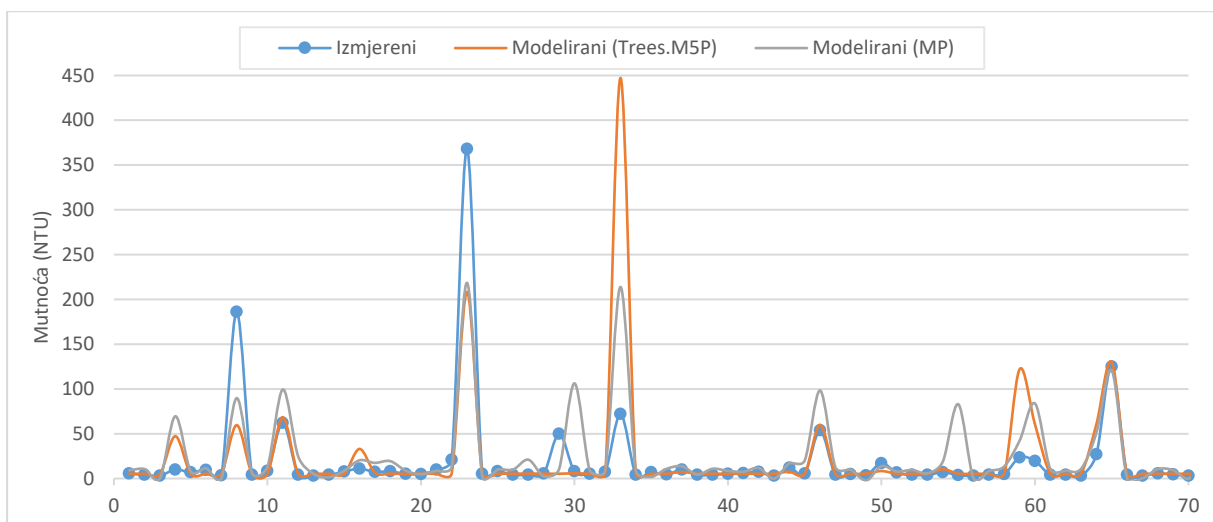
Slika 3.7.15. Regresijsko stablo odlučivanja za procjenu srednjih dnevnih mutnoća na izvoru Rakonek

Potrebno je provjeriti kako model koji je razvijen na skupu podataka za treniranje daje rezultate na nizu nezavisnih podataka koji nisu korišteni u izgradnji modela. Stoga je dobiveni model u nastavku testiran na nizu duljine 20% ukupnog uzorka. Rezultati provedene verifikacije modela na nezavisnom ulaznom nizu podataka napravljeni su za rednom odabrane dane. Na slici 3.7.16 dan

je prikaz odnosa između izmjerenih i modelom Trees.M5P (lijevo) i M. Perceptron (desno) izračunatih dnevnih mutnoća na izvoru Rakonek, a na slici 3.7.17 dan je njihov usporedni prikaz samo za 70 dana.



Slika 3.7.16. Grafički prikaz odnosa između izmjerenih i modelom Trees.M5P (lijevo) i M. Perceptron (desno) izračunatih dnevnih mutnoća izvora Rakonek



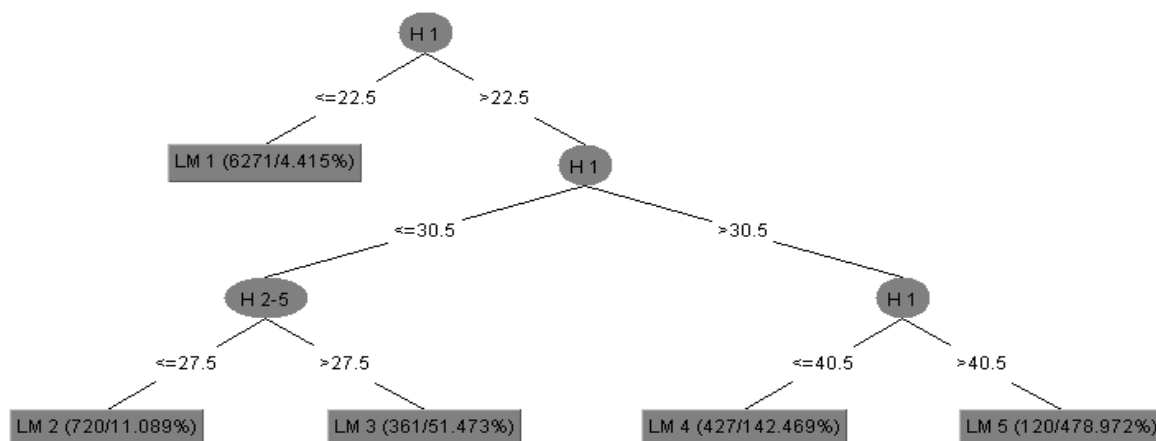
Slika 3.7.17. Grafički prikaz izmjerenih i modeliranih dnevnih mutnoća za 70 slučajno odabranih dana

Drugi način testiranja je da je prvo određen niz podataka za treniranje (1994.-2013. i 2017.-2018.) na osnovu čijih rezultata se definira model, a zatim se provodi njegova verifikacija na nezavisnom nizu podataka od 2014. do 2016. godine. Zbog najbolje prilagodbe modela od 11 atributa i s maksimalnom mutnoćom do 3000 NTU u daljnjem testiranju korišteni su ti parametri. Uz to, radi pokušaja još bolje prilagodbe modela, izbačeni su vodostaji na Rakoneku za prijašnja stanja te je broj atributa smanjen na osam. U tablici 3.7.10 dane su vrijednosti koeficijenta korelacije, srednje apsolutne greške i relativne apsolutne greške pri spomenuta dva modelirana. Vidimo da su u oba slučaja vrlo slični koeficijenti korelacije, kao i srednje i relativne apsolutne pogreške.

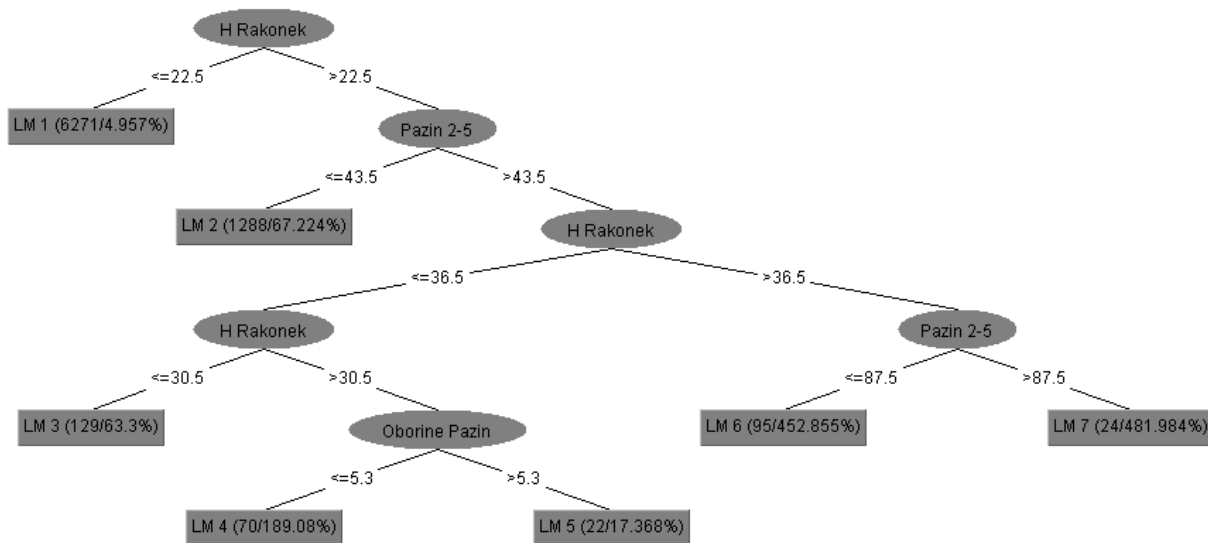
Tablica 3.7.10. Vrijednosti koeficijenta korelacije, srednje apsolutne greške i relativne apsolutne greške

	Broj atributa	Koeficijent korelacije	Srednja apsolutna pogreška (NTU)	Relativna apsolutna pogreška (%)
Maksimalna mutnoća do 3000 NTU				
Trees.M5P	11	0,699	23,8	79,1
Multilayer perceptron	11	0,632	28,8	95,8
Maksimalna mutnoća do 3000 NTU				
Trees.M5P	8	0,645	25,3	84,2
Multilayer perceptron	8	0,658	22,3	74,1

Na slikama 3.7.18 i 3.7.19 dana su regresijska stabla odlučivanja za procjenu srednjih dnevnih mutnoća na izvoru Rakonek pri jedanaest i osam atributa i s maksimalnom mutnoćom od 3000 NTU-a. U čvorovima stabla odlučivanja su imena atributa koja su ključna za odlučivanje, a grane koje izlaze iz svakog čvora predstavljaju uvjete koje treba zadovoljiti da bi se primjer usmjerio tom granom. Grananje stabla završava sa krajnjim čvorovima, kojih u slučaju sa jedanaest atributa ima pet, a sa osam atributa sedam. Ti čvorovi određuju klasu kojoj pripadaju primjeri koji su s obzirom na vrijednost svog atributa razvrstani u taj određeni čvor. U oba slučaja su atributi u čvorovima potpuno različiti. U prvom slučaju su vodostaj na Rakoneku dan prije (H1) i srednji vodostaj na Rakoneku dva do pet dana prije (H2-5), a u drugom slučaju su vodostaj na Rakoneku (H Rakonek), oborina na postaji Pazin (oborine Pazin), te ukupne oborine dva do pet dana prije na postaji Pazin (Pazin 2-5). Klase krajnjih čvorova (LM) označavaju formule za dobivanje dnevnih mutnoća na izvoru Rakonek.

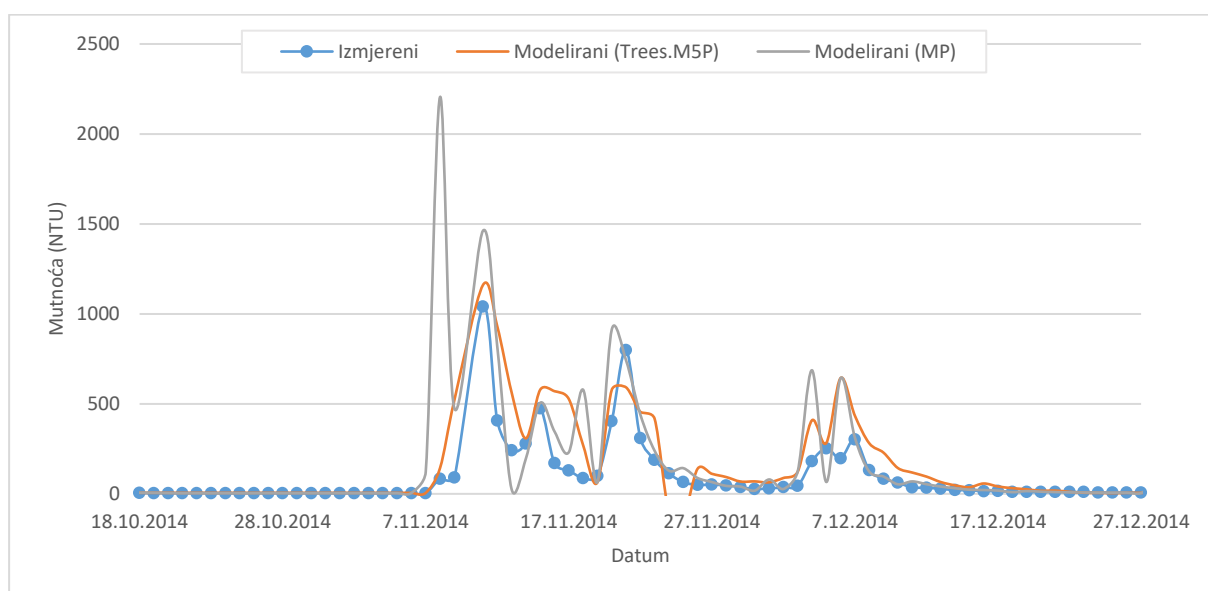


Slika 3.7.18. Regresijsko stablo odlučivanja za procjenu srednjih dnevnih mutnoća na izvoru Rakonek (jedanaest atributa)

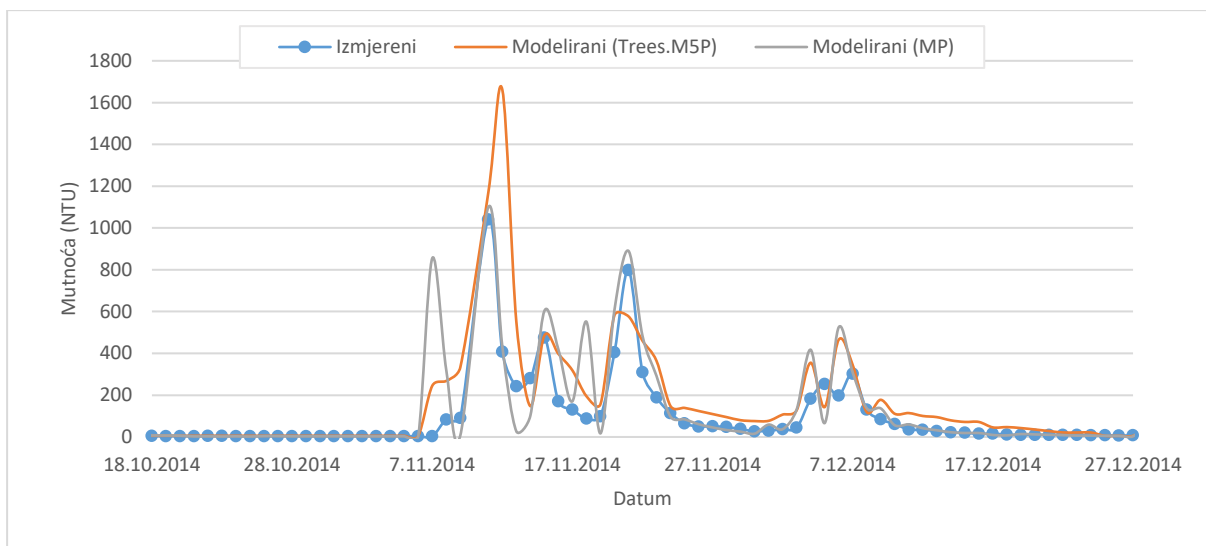


Slika 3.7.19. Regresijsko stablo odlučivanja za procjenu srednjih dnevnih mutnoća na izvoru Rakonek (osam atributa)

Potrebno je provjeriti kako model koji je razvijen na skupu podataka za treniranje daje rezultate na nizu nezavisnih podataka koji nisu korišteni u izgradnji modela. Rezultati provedene verifikacije modela na nezavisnom ulaznom nizu podataka napravljeni su za razdoblje od 2014. do 2016. godine. Na slikama 3.7.20 i 3.7.21 dan je grafički prikaz izmjerenih i modelom Trees.M5P i M. Perceptron izračunatih dnevnih mutnoća na izvoru Rakonek za razdoblje od 18.10.2014. do 27.12.2014.



Slika 3.7.20. Grafički prikaz izmjerenih i modeliranih dnevnih mutnoća za razdoblje od 18.10.2014. do 27.12.2014. (jedanaest atributa)



Slika 3.7.21. Grafički prikaz izmjerenih i modeliranih dnevnih mutnoća za razdoblje od 18.10.2014. do 27.12.2014. (osam atributa)

Rangiranje atributa, upotrebom Weka paketa za strojno učenje, dobivena je njihova raspodjela prikazana u tablici 3.7.11. Rangiranje je napravljeno za dva slučaja – u lijevoj tablici prikazani su atributi kada je modelirano sa njih jedanaest, a u desnoj tablici kad sa osam. Ovaj postupak pruža informaciju o važnosti pojedinih atributa, te služi za eliminaciju nebitnih s ciljem izrade kvalitetnijeg klasifikacijskog modela.

Tablica 3.7.11. Rangiranje atributa pri modeliranju dnevnih mutnoća na izvoru Rakonek za dva slučaja: jedanaest atributa (lijevo) i osam atributa (desno)

Redni br.	Rangiranje atributa pri modeliranju dnevnih mutnoća izvora Rakonek
1	Ukupna oborina Pazin dva do pet dana prije
2	Ukupna oborina Rakonek dva do pet dana prije
3	Oborina Rakonek dan prije
4	Oborina Rakonek
5	Oborina Pazin dan prije
6	Srednji vodostaj Rakonek šest do petnaest dana prije
7	Oborina Pazin
8	Srednji vodostaj Rakonek dva do pet dana prije
9	Vodostaj Rakonek dan prije
10	Vodostaj Rakonek

Redni br.	Rangiranje atributa pri modeliranju dnevnih mutnoća izvora Rakonek
1	Ukupna oborina Pazin dva do pet dana prije
2	Ukupna oborina Rakonek dva do pet dana prije
3	Oborina Rakonek dan prije
4	Oborina Rakonek
5	Vodostaj Rakonek
6	Oborina Pazin dan prije
7	Oborina Pazin

U tablicama 3.7.12 i 3.7.13 prikazane su vrijednosti koje iskazuju jačinu prilagodbe predviđenih vrijednosti registriranima. Odabrane su izmjerene mutnoće veće od 100 NTU jedinica. U tablici 3.7.12 model je testiran na 1798 vrijednosti mutnoća pri rangu do 3000 NTU-a i 1793 vrijednosti mutnoća pri rangu do 1000 NTU-a, dok je u tablici 3.7.13 model testiran na 1093 vrijednosti mutnoća.

Tablica 3.7.12. Rezultati prognoziranja povećanih mutnoća većih od 100 NTU-a na 20% testiranih podataka

	Broj atributa	Max mutnoća	> 100	> 50	> 20	> 10	> 4
Trees.M5P	11	do 1000	62%	88%	100%	100%	100%
Multilayer perceptron	11	do 1000	48%	71%	98%	100%	100%
Trees.M5P	11	do 3000	69%	92%	94%	96%	98%
Multilayer perceptron	11	do 3000	69%	84%	98%	100%	100%

Tablica 3.7.13. Rezultati prognoziranja povećanih mutnoća većih od 100 NTU-a na testiranim podacima u razdoblju od 2014. do 2016. godine

	Broj atributa	Max mutnoća	> 100	> 50	> 20	> 10	> 4
Trees.M5P	11	do 3000	86%	90%	90%	91%	91%
Multilayer perceptron	11	do 3000	81%	93%	97%	100%	100%
Trees.M5P	8	do 3000	88%	95%	97%	97%	97%
Multilayer perceptron	8	do 3000	74%	90%	98%	100%	100%

Iz tablica vidimo da su rezultati prognoziranja povećanih mutnoća većih od 100 NTU-a najbolji kod modela s osam atributa klasifikatora Trees.M5P. Modelom regresijskih stabla za jedanaest atributa predviđeno je od njih 58 čak 50 (86%), a modelom neuralnih mreža 47 (81%).

Generalni je zaključak da su generiranim modelom dobiveni vrlo dobri rezultat, čime je osiguran alat za pravovremenu prognozu pojave povećanih mutnoća te operativno upravljanje izvorom Rakonek. Sami rezultati provedenih modeliranja pojava dnevnih mutnoća pokazali su da najveći utjecaj na pojavu mutnoća na Rakoneku imaju vrijednosti ukupnih oborina palih 2-5 dana ranije na postaji Pazin.

3.8. Značajke ponora Pazinčice i utjecajnih vodnih pojava

3.8.1. Uloga ponora Pazinčice

Ponor Pazinčice središnja je točka koja povezuje površinske vode Pazinčice s podzemnim vodama središnjeg istarskog vodonosnika (Tijelo podzemne vode Središnja Istra) te dalje s vodama izvora u dolini Raše i Raškog zaljeva. U poglavlju 3.2.2 dan je pregled rezultata dosadašnjih trasiranja iz ponora Pazinčice i njemu susjednih lokacija, te konceptualni model funkcioniranja tog krškog vodonosnika. Radi se o vodonosniku koji ima dvojni način napajanja – neposrednom infiltracijom oborinskih voda s površine terena i koncentrirano prihranjivanje koje je najzaglašenije upravo vodama površinskog vodotoka Pazinčice putem njenog ponora (jame/fojbe) u Pazinu.

Površinski tok Pazinčice i njen izvorišni ogranak Borutski potok protječe u svom gornjem i srednjem toku riječnom dolinom formiranom kao i sam sliv od vodonepropusnih fliških struktura eocenske starosti (Šikić i Polšak, 1973). Nakon toga, nizvodno od profila hidrološke postaje Dubravica, Pazinčica prelazi u svoj kanjonski dio koji završava spomenutim ponorom nad kojim se podižu vertikalne stijene – visinska razlika između kote dna ulaza u Pazinsku jamu i platoga grada Pazina lociranog iznad jame je 196 m (Božičević, 2005). Postanak ponora vezuje se za donji pleistocen, kada je Pazinčica, nakon faze površinskog otjecanja prema moru Limskom dragom i njenim sada potopljenim dijelom Limskim kanalom/zaljevom, otvorila svoj tok na mjestu preegzistentnog ponora. Tome su pogodovali veoma izraženi tektonski pokreti, te se postupnim proširenjem tektonskih pukotina površinski vodni tok Pazinčice preselio u podzemlje. Od tada cjelokupna vodna bilanca površinskog toka Pazinčice preko ponora Pazinske jame završava u podzemnom hidrogeološkom sustavu središnje Istre (Rubinić i Kukuljan, 1996).

Ponor Pazinčice je hidrološki veoma aktivan, te njime u podzemlje koncentrirano dotječe veća količina voda koja vrlo značajno utječe na dinamiku vodnih masa u središnjem istarskom vodonosniku. Pri tome je dolina Raše najbliža drenažna baza prema kojoj otječe i glavina voda. Za trajanja razdoblja velikih voda u središnjem istarskom vodonosniku, pogotovo ako one koincidiraju i s velikim vodama u samoj Pazinčici, uz istjecanje na više stalnih izvora uzduž toka Raše aktivira se i niz povremenih izvora poglavito vezanih uz drenažni pravac prema izvoru Sv. Anton (Sušak, Sušnica te nešto uzvodniji Češljari). Za trajanja sušnijih razdoblja, pražnjenje iz toga vodonosnika je ustaljenije. Ovisno o djelovanju hidrauličkih pritisaka zbiva se ujednačenje po njegovom obodu, te je veći udio voda koje istječu na južnije lociranim izvorima, s nižom kotom istjecanja. Glavnina njegova prihranjivanja odvija se s prostranog karbonatnog područja južno od ponora Pazinčice. No, vode Pazinčice su upravo zbog svog koncentriranog djelovanja bitan element koji utječe na cjelokupni mehanizam i dinamiku istjecanja voda iz tog vodonosnika (Rubinić i Kukuljan, 1996).

No, s druge strane, osim neposrednog utjecaja na podzemne vode, ponor Pazinčice ima velik utjecaj i na značajke protjecanja površinskih voda Pazinčice. Taj utjecaj nije ograničen samo na ponorsku zonu Pazinčice, već i do 2 - 3 km uzvodnije – duž cijelog njenog kanjonskog dijela toka (Božičević, 1995). Tu se, u situacijama pojava iznimno velikih voda, zbog ograničenog kapaciteta samoga ponora javlja zajezerenja koje stvara uspor te utječe na plavljenje visinski niže položenih sadržaja uz korito Pazinčice uz cjelokupni kanjonski dio toka. Pri tome privremeno zajezerenje doseže maksimalnu dubinu vode na utoku u podzemlje i do 50 m, a iznimno čak i više.

Naime, speleosustav koji započinje ponorom Pazinčice ima vrlo ograničenu geometriju, odnosno speleomorfologiju s nekoliko sifona već pri samom ulazu u speleosustav. Upravo zbog takve geometrije, detaljnije opisane u poglavlju 3.8.2, pitanje kapaciteta ponora Pazinčice je ključno pitanje za provedbu zaštite od poplavnih voda kao i planiranje vodnogospodarskih rješenja u slivu Pazinčice. Naime, ukoliko je kapacitet poniranja Pazinčice ograničen geometrijom ulaznih dijelova ponorske zone, zabilježeno sve veće nakupljanje naplavina na ulaznom dijelu u speleosustav može utjecati na daljnje smanjenje kapaciteta poniranja. Ukoliko pak na kapacitet ponorske zone utječe i stanje/razina podzemne vode u speleosustavu, onda se čišćenjem ponorske zone ili zahvatima na promjeni njene ulazne geometrije ne bi moglo osigurati povećanje kapaciteta poniranja. Mišljenje da se sifonski odvod iz ponora Pazinčice sve više začepljuje naplavnim otpadom prisutno je još početkom 20-tog stoljeća, kada se javljaju i prve ideje ing. Picciole za odčepljivanjem grotla jame i rezanjem završne stjenke (Feresini, 2012).

Do izrade predmetnog dokumenta jedina informacija o procjeni kapaciteta poniranja je također dana u knjizi Feresinijeve (2012). Navodi se da do poplavlivanja unutrašnjih dijelova jame a koje se onda proteže i na vanjski najnižvodniji dio toka Pazinčice dolazi zbog nedovoljnog kapaciteta sifona, te da se to poplavlivanje javlja kod protoka većih od $35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Iako su i talijansko izdanje te knjige (1972) i hrvatski prijevod (2012) datirani daleko iza 2. svjetskog rata, spomenuta informacija odnosi se na zapažanja vezana uz razdoblje do emigracije autorice, rođene u Pazinu 1947.g.

No, za spomenuti je i neke još ranije kartografske prikaze područja središnje Istre, kao što su Bleau-ova iz 1655. (Slika 3.8.1) te Zulijani i Colussijeva iz 1784. (Slika 3.8.2), objavljene u radu Panisset Travassos i sur. (2018), u kojima je na mjestu Pazinske jame prikazano zajezerenje Pazinčice, a na mjestu Čepić polja nekadašnje Čepićko jezero.

To indicira na mogućnost da je ponor Pazinčice u nekim ranijim vremenima imao još manji kapacitet. No, radi se o vrlo nepreciznim i shematiziranim kartama s ucrtanim položajem Limske drage te ponorskom zonom Pazinčice ka njenim ishodištem. Pojava zajezeranja u zoni ponora Pazinčice nije evidentirana u drugoj vojnoj izmjeri Habsburške monarhije (1806.-1869.), napravljenoj u mjerilu 1:28.800, kao ni u kasnijim kartografskim prikazima.



Slika 3.8.1. Prikaz položaja Limske Drage s prikazanim zajezerenjem ponorske zone Pazinčice prema karti Blea iz 1655 (prema Panisset Travassos i sur., 2018)



Slika 3.8.2. Prikaz položaja Limske Drage s prikazanim zajezerenjem ponorske zone Pazinčice prema karti Zulijani i Colussijeva iz 1784 (prema Panisset Travassos i sur., 2018)

Ponor Pazinčice ne predstavlja samo mjesto s koje površinske vode Pazinčice količinski utječe na stanje i dinamiku kretanja podzemnih voda središnjeg istarskog vodonosnika, nego i mjesto gdje kakvoća površinske vode koja utiče u ponor utječe na stanje kakvoće podzemnih voda kako u središnjem dijelu istarskog vodonosnika, tako i na izvorima na kojima ona istječe. Na to, osim rezultata provedenih trasiranja, ukazuje i ekološki akcident iz listopada 1997.g. kada je došlo do izlivanja mazuta iz pogona nekadašnje tvornice „Pazinka“ u bujični pritok Šaltariju, koji utječe u Pazinčicu neposredno u ponorskoj zoni (Ožanić i sur., 1997, Kuhta i Božićević, 1997).

Iako su početne procjene govorile da se radi o 10-12 tona mazuta, radilo se o puno većim količinama jer je tijekom 16 dana čišćenja prikupljeno 421 m³ zauljene vode iz koje su izdvojeno 123 tone mazuta. S obzirom na sretnu okolnost da su u vrijeme zabilježenog akcidenta vladale iznimno sušne hidrološke prilike, kao i s obzirom na provedene opsežne i učinkovite mjere provedbe sanacijskih zahvata, u podzemlje je dospjela manja količina onečišćenja u odnosu na razmjere akcidenta – oko 1,4 tone mineralnih ulja. Zabilježene koncentracije onečišćenja u vodama dijela uzvodnije lociranih izvora s desne obale rijeke Raše bile su i nekoliko stotina puta veće od maksimalno dozvoljenih koncentracija (MDK). U vodama izvora Rakonek te su koncentracije bile i nekoliko desetaka puta veće od MDK, ali istovremeno i znatno manje od onih zabilježenih u vodi Pazinčice, što je posljedica razrjeđenja sa znatno čistijim dotocima iz drugih dijelova sliva. Poznato je da se nakon obilnijih oborina na krškim izvorima blizu urbanih područja, kao posljedica ispiranja, vrlo često bilježe povećane koncentracije ulja i masti, mineralnih ulja, ponekad i fenola. No na izvoru Rakonek kao i drugim opažanim izvorima na desnoj obali Raše, povećanja su znatno iznad uobičajenih, pa se nedvojbeno mogu vezati uz onečišćenje Pazinske jame (Rubinić i sur., 1998; Kuhta i Stroj, 2010).

Speleološkom prospekcijom provedenom nekoliko dana po dojavi o spomenutom akcidentu iz listopada 1997.g. utvrđeno je da je uz recentne tragove onečišćenja ugljikovodicima u speleološkom sustavu ponora Pazinčice na samoj vodenoj površini prisutan i trag, cca 2,5 m viši od tadašnje razine vode, koji se može pripisati nekim ranijim sličnim onečišćenjima koja nisu bila niti evidentirana. To ukazuje na trajniji negativan utjecaj onečišćenih voda iz ovoga ponora na podzemne vode. Iako pitanje kakvoće voda nije predmet ovoga dokumenta, za konstatirati je da je taj utjecaj posebno bio izražen u vrijeme dok su površinske vode Pazinčice bile opterećene nepročišćenim otpadnim vodama grada Pazina, u vrijeme kad uređaj nije radio na primjeren način, kao i prilikom značajnijih površinskih otjecanja, posebno u slučaju havarije odvodnog kanala odlagališta otpada Lakota u Pazinu (Buzjak, 2018).

3.8.2. Speleološke značajke Pazinske jame i obližnjih speleoloških lokaliteta

Speleološka istraživanja Pazinske jame i okolnih dubokih jama na širem području Pazina su u kontekstu predmetnog dokumenta interesantna s aspekta hidroloških značajki dinamike kolebanja voda i otjecanja voda u njima, prije svega u kontekstu analize poplava koje se periodički događaju u najnižvodnijem dijelu toka Pazinčice, za koje je s jedne strane još Martel 1896 ukazao da „logično, dakle, zvuči objašnjenje da je ždrijelo sifona toliko usko da nakon kiše vani nastaje privremeno jezero kojemu trebaju, kako se smatra, tri do četiri dana da se isprazni. Tako objašnjavamo, ali nažalost ne uklanjamo, uzrok sporog otjecanja voda iz nabujale Pazinčice“ (Feresini, 2012). No, D'Ambrosi je u svom pismu/mišljenju upućenom ing. Di Druscu 1942.g., prema navodima prenesenim iz iste knjige Feressini (2012), ukazao na mogućnost da poplave ne nastaju samo zbog velike vodne mase površinskih voda u slivu Pazinčice, nego i zbog podizanja razina podzemnih voda u okolnoj karbonatnoj zaravni. Navodi se i da „istočno od Velanovog brijega, za vrijeme poplava, iz jedne šupljine pršti voda pomiješana sa zrakom, koja se podiže nekoliko metara uvis, iznad površine polja, proizvodeći tako snažan zvuk. Lindarski seljaci zovu ga *uzdahom* Pazinčice“. Isto tako, navodi se i da se lokacije s komunikacijama s podzemnim vodama (analize) nalaze u dvorištu franjevačkog samostana u Pazinu, kao i na lokaciji Bač između Lindara i Gračišća kod koje se opisuje da „se radi o strmoj jami koja završava s jezerom i u kojoj voda silovito ključa u razdobljima bujanja Pazinčice, nerijetko se uspinjući do samog ždrijela“ (Feresini, 2012).

Upravo iz navedenih razloga potrebe hidrološkog tumačenja funkcioniranja krškog vodonosnika središnjeg dijela istarskog vodonosnika u uvjetima pojava velikih poplavnih voda u slivu Pazinčice, bilo je interesantno sagledati mogućnost uspostave monitoringa ne samo u Pazinskoj jami nego i u nekim od okolnih dubokih jama koje imaju kontakt s temeljnim podzemnim vodama. Pri tome su kao reprezentivi odabrane i jame Kobiljak i Bregi. Slijedi opis povijesti speleoloških istraživanja u spomenutim trima najistaknutijim speleološkim objektima na širem području Pazina, kao i njihovih osnovnih značajki.

Povijest speleoloških istraživanja Pazinske jame

Pazinska jama (Foiba di Pisino) je krški ponor koji temeljem Zakona o zaštiti prirode spada u zaštićeni značajni krajobraz, koji je zaštićen od 17.3.1964. Zaštićeno područje površine 7,24 km² (<https://www.bioportal.hr/gis/>) obuhvaća kanjon i ponor rječice Pazinčice, dužine oko 500 metara i dubine oko 100 metara, te speleološki objekt Pazinska jama u dosad istraženoj duljini od 287 metara. Hidrogeološki gledano Pazinska jama je ponor koji je nastao na dodiru vodonepropusnih flišnih slojeva Pazinskog paleogenog bazena i vodopropusnih krednih vapnenaca antiklinalne površina jugozapadne Istre.

Sliv Pazinčice površine je 77,4 km², a dužine oko 16,5 km. U vrijeme obilnijih padalina vodonepropusno flišno zaleđe vodotocima daje izrazito bujični karakter, što dovodi do nakupljanja velikih količina voda koje često premašuju kapacitet ponora što rezultira njegovim potapanjem (Slika 3.8.3).

Ulaz u ponor je impozantnih dimenzija, a nalazi se u podnožju vertikalne stijene koja zatvara kanjon Pazinčice. Odmah iza ulaza formirana je dugačka dvorana koja završava s velikim podzemnim

jezerom (Martelovo jezero) na čijem se kraju nalazi sifon. Podzemni tok Pazinčice nastavlja se do nekoliko izvora u dolini rijeke Raše, te jednog izvora u uvali Blaž u Raškom zaljevu koji se izljeva direktno u more. Stvaranje speleološkog objekta omogućile su tektonske pukotine pravca SZ-JI nastale uz obod rasjeda u uslojenim gornjokrednim vapnencima koje su kasnijim djelovanjem vode proširivane i oblikovane sve do danas.



Slika 3.8.3. Poplava 1993.g.

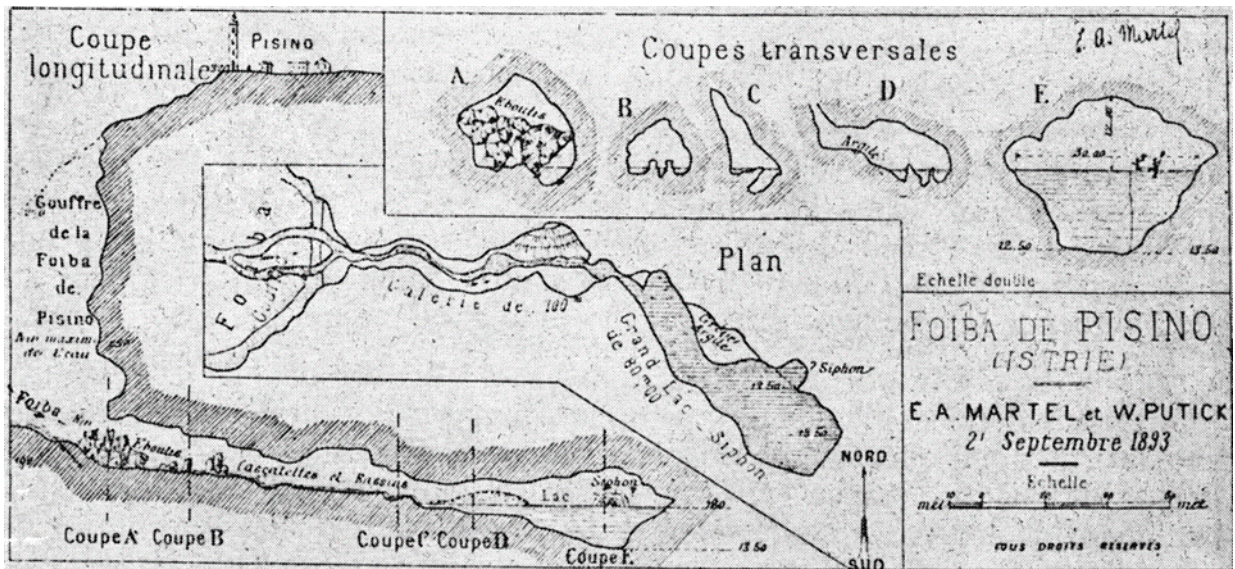
Ponor Pazinske jame od davnina je privlačio pozornost, brojnih europskih putopisaca, speleologa i znanstvenika. Prvi se puta Pazinska jama spominje pismima dvaju putopisaca iz 1771. koja se čuvaju u British Library - biskupa od Derry-ja Frederika Augusta Herveya, kao i poznatog putopisca Alberta Fortisa (Shaw, 2001; Shaw i Adam, 2001).

Prema Babiću i sur. (1968) hidrogeološkim prilikama u Istri bavi se Guido Stache (1864., 1880. i 1889.) gdje razmatrajući vodoopskrbu grada Pule navodi da dobar dio podzemne vode u okolici Pule potječe iz slivnog područja Pazinskog potoka. Na temelju opisa danog u knjizi Trst i Istra (Yriarte, 1875), Pazinska jama 1885.g. dospijeva i u književnost gdje u romanu Mathias Sandorf poznatog pisca Julasa Vernea postaje mjesto radnje, bijega junaka romana iz pazinskog kaštela podzemnim putem.

Eduard A. Martel, poznati francuski speleolog i istraživač krša, te Wilhelm Putick, šumarski stručnjak iz Ljubljane proveli su 1893. prva sustavna istraživanja Pazinskog ponora, a koja su objavljena u radovima iz 1894., 1896 i 1897. (Kuhta i Božičević, 1997). Na temelju tih istraživanja objavljen je prvi detaljni nacrt speleološkog objekta, a Martel je prepoznao da je ponor nastao djelovanjem vode uzduž pukotina u stijenama te da vode iz velikog podzemnog jezera (Martelovog jezera) moraju otjecati dalje kroz sifon na dnu jezera. Utvrđena je ukupna duljina ponora oko 180 metara (Slika 3.8.5). Na Slici 3.8.4 dan je hidrografski prikaz vodotoka Pazinčice.



Slika 3.8.4. Hidrografski prikaz vodotoka Pazinčice prema Feresini (2012)



Slika 3.8.5. Nacrt Pazinske jame (Foiba di Pisino) prema premjeru kojega su proveli Martel i Putick 1893. (Martel, 1894)

Però Marinitsch arheolog i speleolog član Commissione Grotte Eugenio Boegan, zajedno s E.A. Martelom i drugim istraživačima (Putik, Müller, Novak, Diez) 1896. provodi arheološka i speleološka istraživanja Pazinske jame.

Poznati agronom Carlo Hugues koji je radio na poljoprivrednoj školi u Poreču, shvatio je da razvoj poljoprivrede u Istri mora pronaći vodu. U svojoj studiji "Podzemna kraška hidrografija" (Hugues, 1903) pokazuje izvrsno poznavanje kompletne fenomenologije Pazinske jame, primjerice opisujući pojavu pukotina kroz koje puše zrak u vrijeme visokih razina podzemne vode.

Prema Babiću i sur. (1968), Sacco i sur. 1924. pišu opširno o površinskoj i podzemnoj hidrografiji Istre. On je smatrao da se podzemne vode koje poniru u Pazinskoj jami lepezasto šire prema zapadu (Limski kanal) i prema istoku (dolina Raše), a najviše prema jugu tvoreći izvore na području Fažane, Pule, Medulina i Budave.

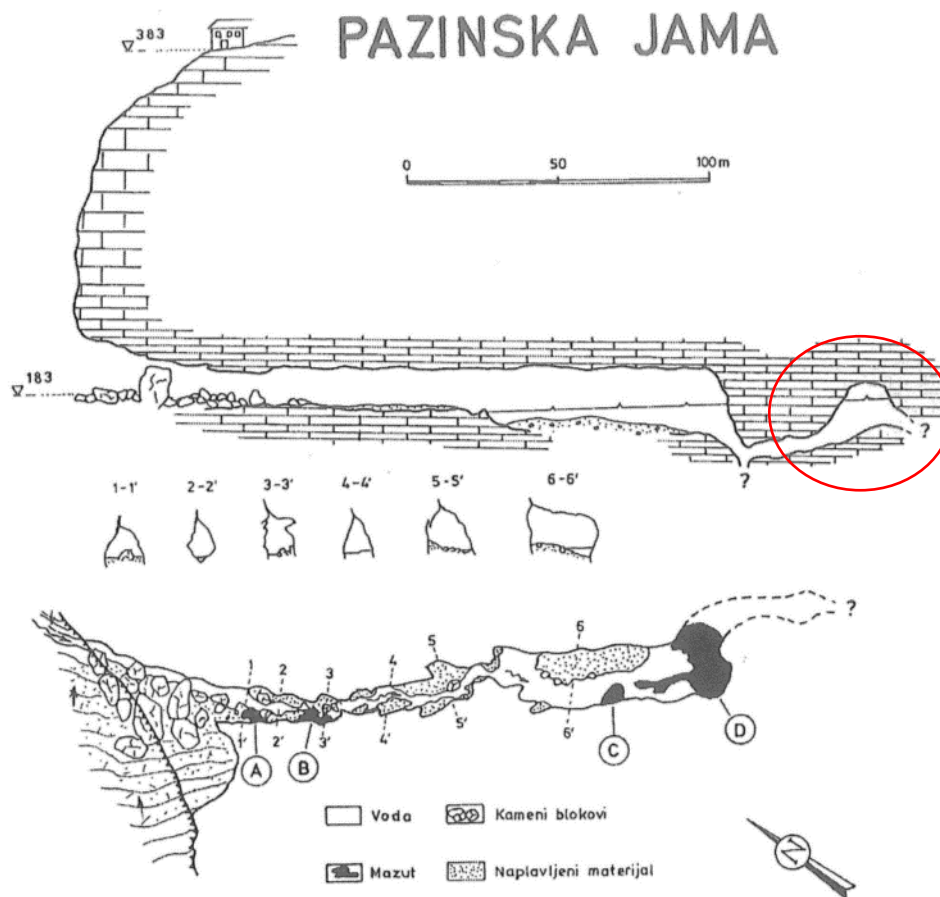
Nekoliko godina kasnije geolog Carlo D'Ambrosi (1931) izrađuje geološke karte istarskog područja "Foglio Pisino" te ukazuje na podzemnu povezanost Pazinskog ponora s dolinom rijeke Raše na istoku Istre. Rovinjski znanstvenik Massimo Sella tu je tvrdnju dodatno potkrijepio pokusom s obilježenim jeguljama 1934.g. (Feresini, 2012). Naime, obilježene jegulje pustio je u podzemne vodotokove Pazinske jame, da bi ih kasnije pronašao u rijeci Raši do koje su doplivala podzemnim kanalima, dokazujući na taj način njihovu povezanost. Recentnije monitoringom Pazinske jame utvrđeno je kretanje jegulja iz speleološkog objekta prema uzvodnim dijelovima Pazinčice. No, i pojava/migracije samih jegulja u Pazinskom potoku ukazivala je na povezanost tog vodotoka u središnjoj Istri s morem putem podzemne hidrografske mreže.

Zagrebački geolozi i paleontolog Mirko Malez proveli su u kolovozu 1967. speleološka istraživanja Pazinske jame. Napravljen je novi nacrt jame (Malez, 1968) (Slika 3.8.6) te je detaljno razmotren njezin opis i nastanak. Malez zastupa ranije uvriježenu teoriju po kojoj vode iz jame izvire u Limskom kanalu na zapadu Istre, i to u uvjetima niskih vodostaja, a u uvjetima nešto povišenih vodostaja Malez pretpostavlja da se voda kreće u dva pravca – prema izvorima u Limskom kanalu i u dolini Raše. Dok za situaciju visokih vodostaja Malez pretpostavlja da voda iz Pazinske jame lepezasto otječe od izvora u Limskom kanalu, pa preko brojnih manjih priobalnih izvora na području Fažane, Pule i Medulina do izvora u dolini Raše. Rezultati provedenih trasiranja sadržani u poglavlju 3.2.2 potvrdili su da vode iz ponora Pazinčice ne dotječu do Limskog kanala, nego se pojavljuju na izvorima u dolini rijeke Raše i Raškom zaljevu.



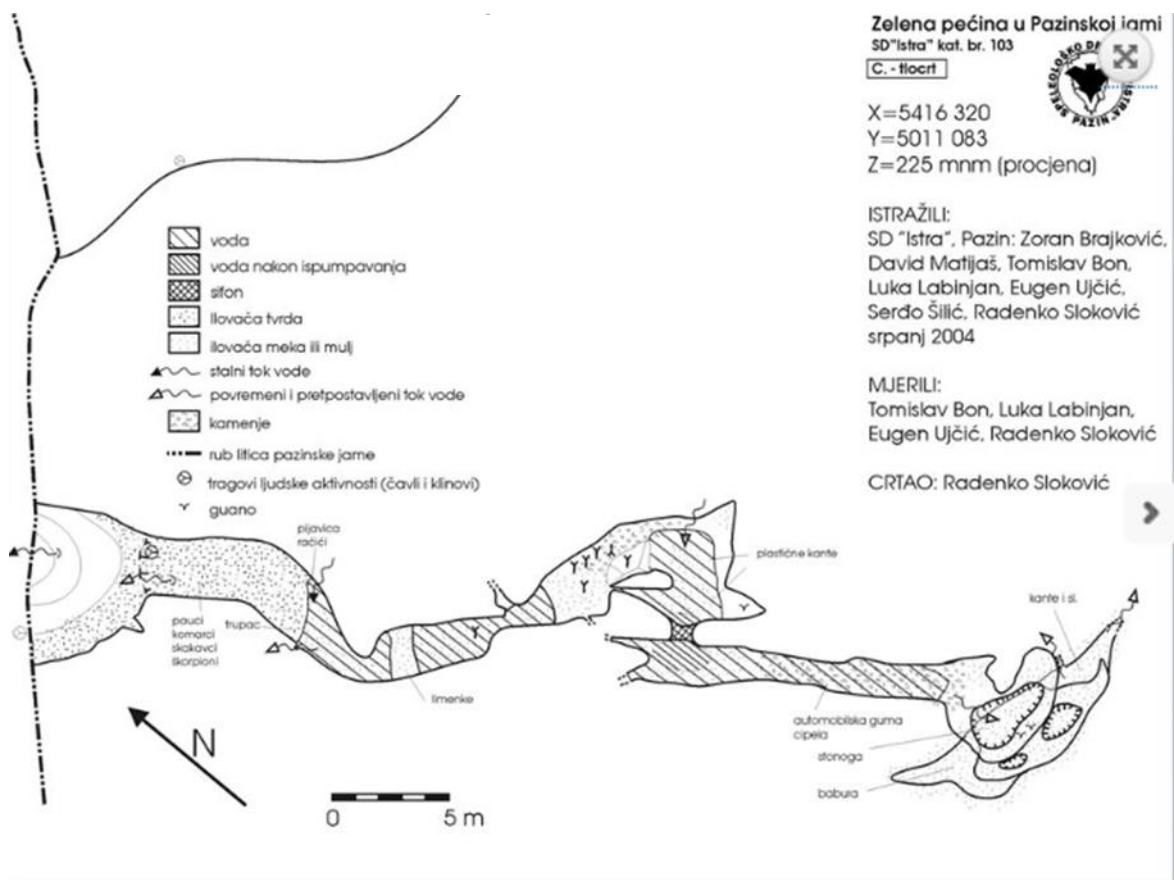
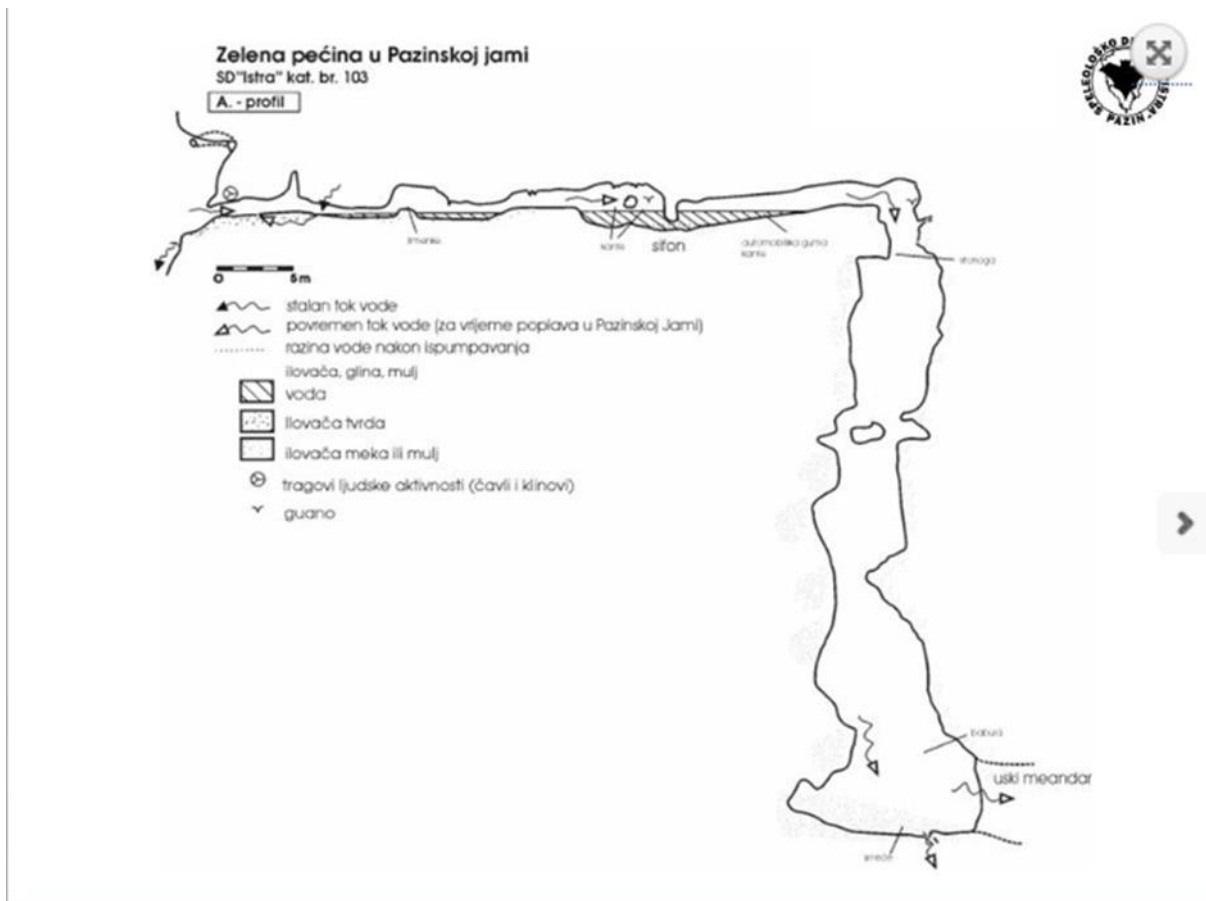
Slika 3.8.6. Nacrt Pazinske jame (Malez, 1968)

Novi doprinos u istraživanju Pazinske jame dao je Drago Opašić – Billy, pokretač speleoloških aktivnosti u Istri i Speleološko društvo Istra iz Pazina 1975. godine kada su, uz pomoć ronilaca iz Pule, organizirali prvo speleoronilačko istraživanje sifona Pazinske jame. Ronilac Mitar Marinović pritom je pronašao sifon Martelovog jezera te izronio u sljedećoj, dotada nepoznatoj špiljskoj dvorani s malim jezerom (odnosno vodenim kanalom) koje je po njemu nazvano Mitrovo jezero (Slika 3.8.7).



Slika 3.8.7. Prikaz položaja sifona (markirano) koji je preronio 1975.g. Mitar Marinović po kome je nazvano jezerce iza sifona (Kuhta i Božićević, 1997)

Tridesetak godina kasnije pazinski speleolozi 2004. godine otkrili su manji ponor u Zelenoj pećini, koji se pruža paralelno uz Pazinsku jamu. Član SD Istra Sloković Radenko izradio je nacrt Zelene pećine (Slika 3.8.8 i 3.8.9). Radi se o speleološkom objektu manjih dimenzija, širine kanala 1 do 3 metra, visine 0,6 do 2 metra, sa par suženja i manjim sifonom u horizontalnom kanalu kojeg treba ispumpavati za napredovanje, horizontalne dužine od 40-tak metara, te isto toliko vertikalne dubine, a završava neprohodnim suženjem. Kada razina vode u kanjonu prijeđe kotu ulaza ponaša se kao ponor koji guta manje količine vode, dok kod nižih vodostaja iz horizontalnog kanala istječe voda koja dolazi iz stropnih pukotina.



Slika 3.8.8. Zelena Pećina: gore – profil, dolje - tlocrt Zelene pećine (nacrt izradio: Radenko Sloković)



Slika 3.8.9. Ulaz u Zelenu pećinu (foto: SD Istra – Pazin, [https://blog.dnevnik.hr/mojpotok/oznaka/zelena-peina#gallery\[1385313220\]/30/](https://blog.dnevnik.hr/mojpotok/oznaka/zelena-peina#gallery[1385313220]/30/))

U razdoblju od 1980. do 2006. zbog razvoja grada i njegove industrije, kao i zbog okolnosti da su sve fekalne i industrijske otpadne vode bile direktnim ispustom usmjerene u kanjon Pazinčice, uslijed velikog zagađenja podzemlja istraživanja u sifonu nisu bila moguća.

Gradski pročistač voda izgrađen je do 2006. godine, a njegovim puštanjem u rad stvoreni su preduvjeti za daljnja istraživanja speleološkog objekta Pazinska jama.

Projekt županijskog Odsjeka za zaštitu okoliša »Underground Istria« završen je 2008. u sklopu programa Phare 2006 Interreg IIIA Program za susjedstvo Slovenija-Mađarska-Hrvatska, kojem je jedan od glavnih ciljeva bio očuvanje i zaštita speleoloških lokaliteta u Istri. Projekt je trajao godinu dana, a u tom je razdoblju očišćeno devet otpadom najugroženijih objekata među kojima i Pazinska jama.

Godine 2015., 40 godina od prvog urona u sifon Marteleovog jezera, Mladen Jekić speleolog iz S.D. Istra, okuplja grupu hrvatskih speleoroničara i speleologa koja odlučuje istražiti nepoznate podvodne prostore Pazinske jame. Cilj istraživanja bio je provjera činjenica vezanih uz postojanje drugog jezera iza sifona te utvrđivanje njegovih dimenzija uz topografsko i fotografsko dokumentiranje.

Ronjenjem u sifonu Martelovog jezera pronađen je prolaz na drugu stranu sifona u vodeni kanal (tzv. Mitrovo jezero) koji se nastavlja u dužini od 13 m, završava vodopadom visine 7 metara, te se nastavlja novim sifonom nepoznate dimenzije (Slika 3.8.10 i 3.8.11).



Slika 3.8.10. Martelovo jezero



Slika 3.8.11. Vodopad iza sifona

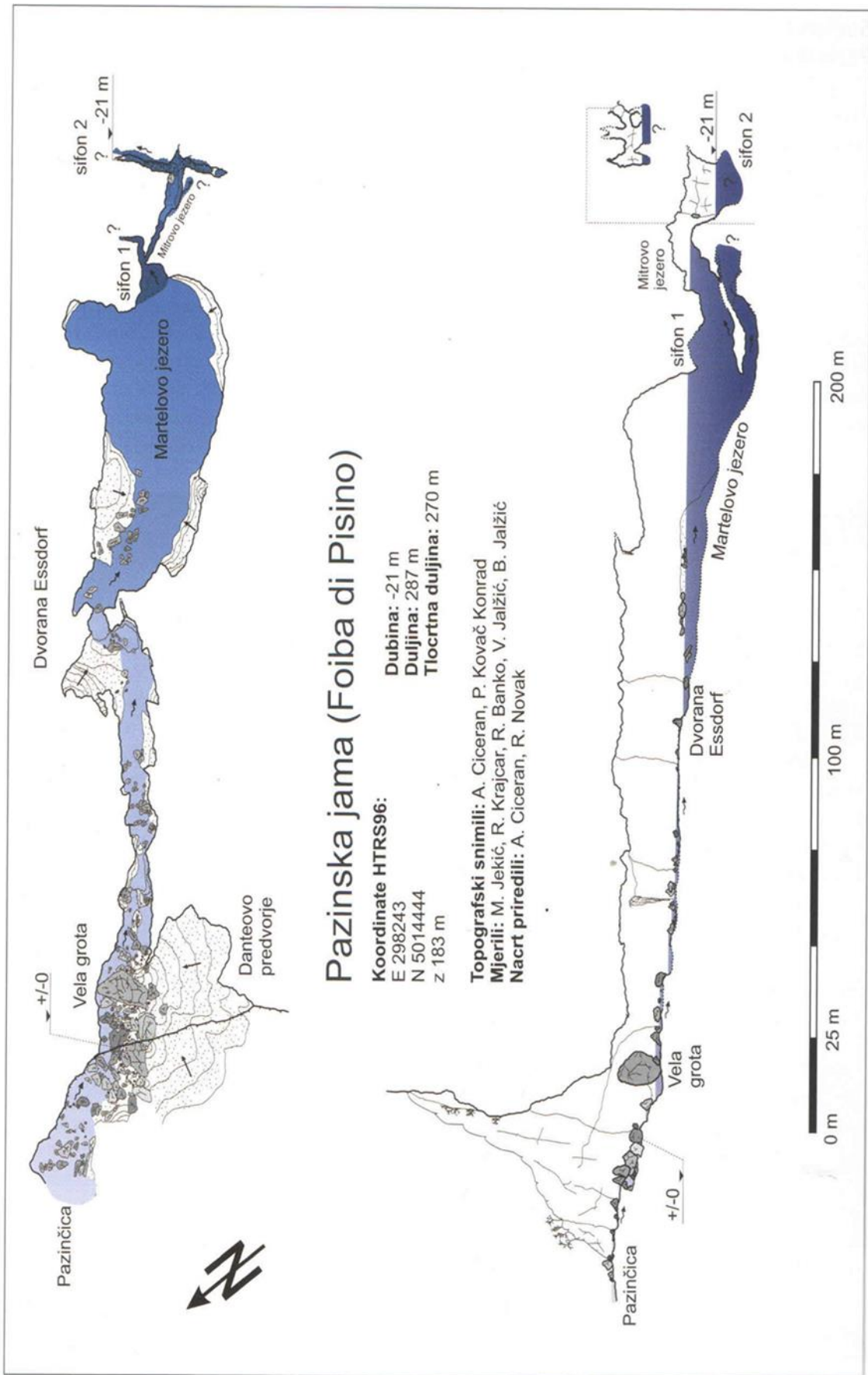
Novija istraživanja Pazinske jame

U travnju 2015. godine sastavljena je ekipa speleoronilaca spremna zaroniti u nepoznate podvodne prostore Pazinske jame. Opisom koji je u jednoj reportaži za Glas Istre dao ronionc Mitar Marinović iz Pule, novim je ronjenjem u sifonu potvrđena mogućnost prolaza na drugu stranu sifona, speleoronionci ušli su u vodeni kanal (tzv. Mitrovo jezero) koji završava vodopadom, te u nastavku novim sifonom. Tom prilikom topografski je snimljeno 87 metara novih prostora i izrađen je novi detaljni nacrt Pazinske jame. Ukupna duljina Pazinske jame s novim mjerenjima iznosi 287 m (Slika 3.8.12).

Ronjenje u Pazinskoj jami jedno je od zahtjevnijih tipova speleoronjenja. Loša vidljivost od 0.5-1m otežava orijentiranje i istraživanje novog prostora. Velike količine granja i debala zbijene su u jezeru ispred sifona, a u samom sifonu su uglavljena između stijena. To je uzrokovalo zapinjanja speleoronionca u granje kao i podvlačenje sigurnosne niti ispod debala što je otežalo povratak iz sifona u uvjetima loše vidljivosti. Stijene u sifonu su vrlo glatke i kompaktne, što je onemogućavalo speleoronioncima vezanje sigurnosne niti. Prvim uronom speleoronionci su pokušali naći prolaz u kanal. Tek iz trećeg pokušaja uspijevaju nakon 30-tak metara izroniti u suhi kanal sa vodopadom. U drugom uronu, 10-tak metara niže, otkrivaju nastavak potopljenog dijela kanala. U uvjetima loše vidljivosti utvrđeno je da potopljeni kanal ima visok i uzak poprečni presjek koji se u nekim dijelovima sužava, a u nekima proširuje.

U speleoronilačkom istraživanju sifona u Pazinskoj jami učestvovalo je 28 speleologa od čega 3 speleoronionca iz SO Željezničar; Petra Kovač Konrad, Vedran Jalžić i Branko Jalžić. Petra Kovač Konrad i Vedran Jalžić izvršili su topografsko snimanje potopljenog sifona, te Antonio Ciceran iz SK Had sa Brankom Jalžićem izvršio je topografska mjerenja novih prostora iza sifona. Filmske dokumentarne materijale snimili su: Denis Barnjak, Chavez Solis, Efrain Miguel i Vedran Jalžić. Organizator istraživanja je: Speleološko društvo Istra, Pazin, a voditelj istraživanja Mladen Jekić iz SD Istra, Pazin.

Zaključak istraživanja bio je da je ronjenje u Pazinskoj jami primjer jednog od najzahtjevnijih i najkompleksnijih speleoronilačkih istraživanja. Postoji velika želja speleologa i speleoronionca da nastave istraživanja u potopljenom dijelu kanala. Plan je pronaći najbolji prolaz u visokom kanalu. Osim loše vidljivosti, jedan od problema za koji će biti potrebno pronaći rješenje je pričvršćivanje Arijadnine niti (sigurnosne speleoronilačke niti). Također je planiran nastavak biospeleoloških istraživanja.

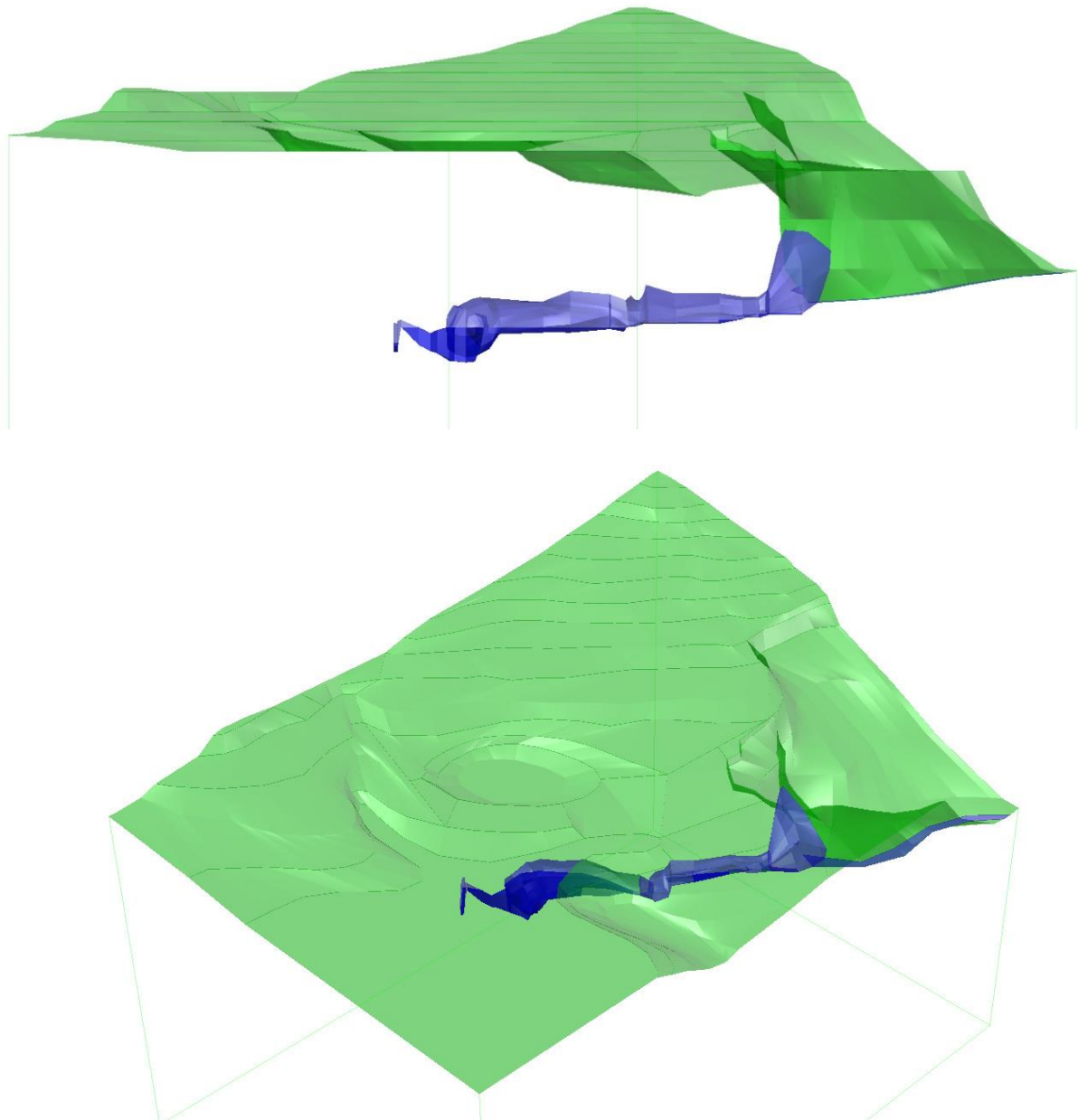


Slika 3.8.12. Novi topografski nacrt Pazinske jame - tlocrt i profil

Mjerenja u svrhu izrada 3D prikaza Pazinske jame

U cilju davanja točnije procjene volumena prostora i nanosa koji se u njemu nalazi, obavljena su mjerenja na temelju kojih je izrađen 3D prikaz Pazinske jame (Slika 3.8.13).

Izmjereno je 20 poprečnih presjeka jame koji su pozicionirani na poligon koji je izmjeren od ulaza do mjesta gdje se završilo sa istraživanjima. Poprečni presjeci su prikazani u mjerilu 1:500. Poligon i poprečni presjeci objedinjeni su u jedinstveni .shp file. 3D prikaz je georeferenciran i prikazan u odnosu na topografiju okolnog terena, a iz njega su izračunati morfometrijski podaci prostora, volumena nanosa i ostalog zagađenja. Dodatno je izvršena dorada grafičkog prikaza istraženih potopljenih dijelova Pazinske jame.



Slika 3.8.13. 3D prikazi Pazinske jame

Na temelju 3D prikaza izračunati su volumenski parametri (Tablica 3.8.1).

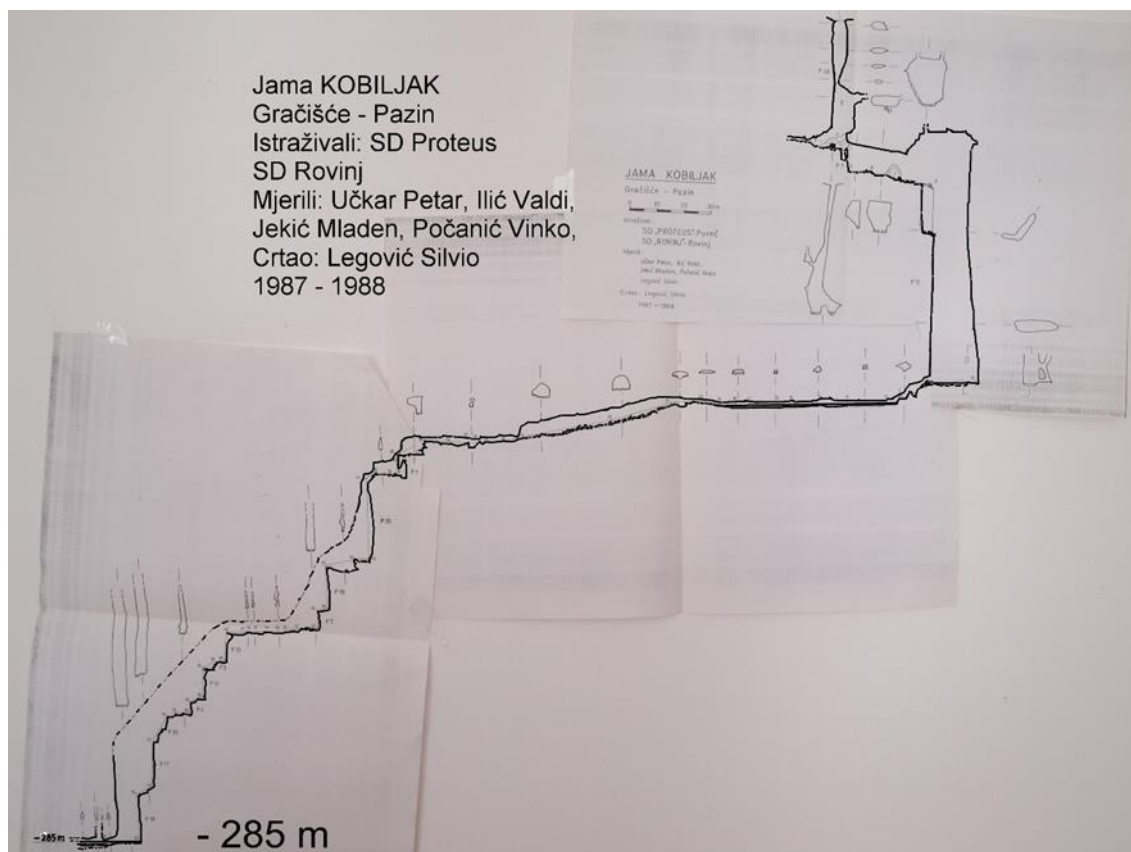
Tablica 3.8.1. Volumenski parametri

Volumen kanala cijelog objekta (od ulaznog previsa)	62.964 m ³
Volumen kanala cijelog objekta (od ulaza u glavni kanal)	46.589 m ³
Volumen ulaznog dijela- polušpilje (od previsa do ulaza u glavni kanal)	16.375 m ³
Volumen glavnog kanala od ulaza u kanal do Martelovog jezera	9.537 m ³
Volumen zraka dvorane iznad Martelovog jezera	26.109 m ³
Volumen potopljenog dijela Martelovog jezera	9.423 m ³
Volumen kanala sifona -potopljeno	697 m ³
Volumen kanala iza sifona -zrak	643 m ³
Volumen vode u kanalu iza sifona	180 m ³
Volumen naplavina u Martelovom jezeru	2.935 m ³

Povijest speleoloških istraživanja Jame Kobiljak

U prošlosti već su talijanski speleolozi 30-tih godina u dva navrata ulazili u jamu i istražili jamu do sifona na polovici jame. Nedugo po osnivanju SD Istre u Pazinu krajem 70-tih, Drago Opašić - Billy vodio je istraživanje prilikom kojeg se također stiglo do sifona koji je bio potopljen te je utvrđeno da nije moguće nastaviti istraživanje bez ronilačke opreme. U periodu 1987.-88. godine jamu istražuju SD Istra (SD Rovinj, ex SD Istra) i SD Proteus. U tom razdoblju zbog povoljnih hidroloških uvjeta razina vode u sifonu se spustila čime je omogućeno daljnje istraživanje. Nakon sifona slijedilo je još 11 manjih vertikala kojima se stiglo do jezera, ujedno i sifona na dubini od -286 metara. Uslijedilo je još nekoliko neuspjelih pokušaja istraživanja donjih dijelova jame koji su onemogućenim visokom razinom vode u sifonu. Nakon duže suše, 14. siječnja 2002. godine članovi SD Proteusa ponovno ulaze u jamu sa ciljem proširivanja uske pukotine pri samom dnu. Miniranjem je proširen prolaz i tom prilikom otkriveno je novih 35 metara potopljenog kanala. Na kraju kanala uočeni su potopljeni dijelovi sigastog saljeva. Nastavak istraživanja je moguć ronjenjem i penjanjem u vertikali iznad jezera na dnu jame. Prilikom istraživanja primijećena je bogata špiljska fauna. Temperatura jame iznosila je 9.5 °C.

Jama Kobiljak (Slika 2.3.2) spada u red koljenastih speleoloških objekata u kojem se smjenjuju vertikalni skokovi sa horizontalnim dijelovima, formirana je unutar krednih vapnenaca istarske antiklinalne površine (Slika 3.8.14).

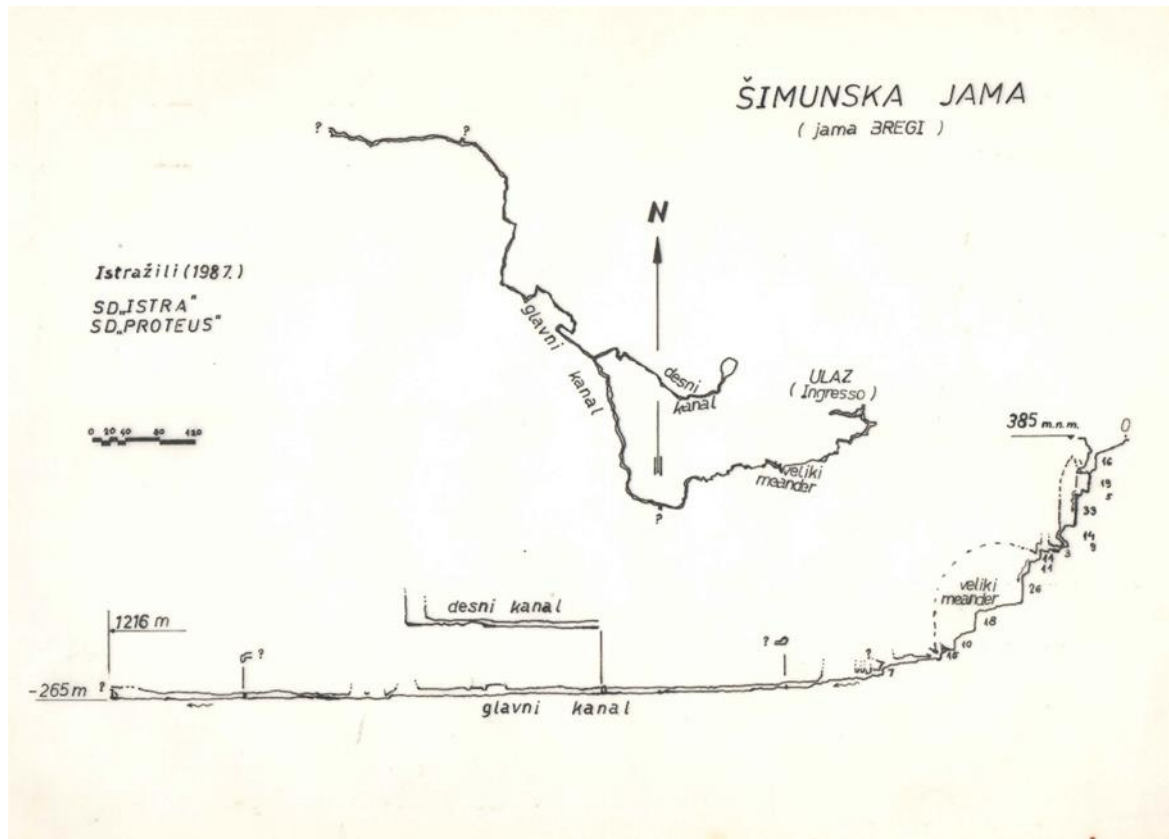


Slika 3.8.14. Profil jame Kobiljak, 1987.-1988. (nacrt izradio: Silvio Legović)

Povijest speleoloških istraživanja ponora Bregi

Talijanski speleolozi su počeli sa istraživanjima ponora Bregi (Foiba di Marfani, N. 2496 V.G.) 1930-tih i tada su ga istražili do -115 m dubine, gdje se na toj dubini stalo na sifonu. Drugi nazivi u optičaju za istu jamu su: Šimunska jama, Marfanska jama i Žudihova jama. SD Istra i SD Proteus su od 1987. do 1989. nastavili istraživanja. Danas je to najdulji istarski speleološki objekt i do sada je dokumentirana ukupna duljina od 2.045 m. Ponor Bregi je povremeni ponor i speleomorfološki gledajući to je jama duboka -273 m razlomljena na petnaestak vertikalna od kojih je najdulja 33 metra. Nakon nekoliko ulaznih vertikalna počinju vodeni tokovi koji teku sve do dna jame. Glavni kanal je više ili manje potopljen vodom i završava sifonom u kojem je potrebno koristiti ronilačku opremu. U istraživanjima 2001. godine ponor je produljen za dodatnih 500-tinjak metara. Hidrološki gledajući Bregi je povremeni ponor u kojem su prve dvije vertikale još uvijek onečišćene krupnim i sitnim otpadom. Prilikom istraživanja primijećena je bogata špiljska fauna. Temperatura jame iznosila je 9.5 °C. Jama pripada Natura 2000 staništima.

Jama Bregi (Slika 2.3.2) spada u red koljenastih speleoloških objekata u kojem se smjenjuju vertikalni skokovi sa kratkim horizontalnim meandrima, a dno jame sastoji se od glavnog horizontalnog kanala dužine oko 2000 m sa više bočnih kanala iz kojih dotiče voda, formirana je unutar krednih vapnenaca istarske antiklinalne površine (Slika 3.8.15).



Slika 3.8.15. Profil i tlocrt Jame Bregi, 1987. (nacrt izradio: Mladen Jekić)

3.8.3. Stanje naplavina u ponoru Pazinčice

Obzirom na mogućnost da osim same geometrije ponora i stanja razina podzemnih voda na kapacitet prihvata voda u Pazinsku jamu utječu naplavine na utoku u podzemlje, u sklopu radova provedenih 2018. i 2019.g. izvršen je pregled na površini stalnog Martelovog jezera u samom ponoru. Utvrđeno je da se od razdoblja 2009. godine, kada je napravljen veliki zahvat ekstrakcije otpada iz završnog jezera prilikom kojeg je izvađeno oko 7 m³ sitnog otpada, zatekla tamo još veća količina sitnog otpada, uglavnom plastike. Procijenjena površina na kojoj je nalazi otpad je oko 700 m². Procijenjena količina anorganskog otpada sada je oko 9 m³ (Slika 3.8.16). Osim anorganskog otpada na površini vode nalazi se organski otpad, naplavine u vidu drvenih trupaca. Nanos ovih trupaca pokriva kompletnu površinu jezera prije nego što potone na dno. Trupci su većih i manjih dimenzija, uglavnom zaglavljani jedni za druge, tako da predstavljaju prepreku za normalno pregledavanje površine jezera. Gruba procijenjena volumena otpada organskog porijekla na površini jezera od 700 m² iznosi 250 m³ materijala.



Slika 3.8.16. Otpad na površini jezera

Osim uočenog zagađenja naplavinama na površini jezera, uočeno je i zagađenje na sedimentu. Vidljivi tragovi mazuta još su od zagađenja vodotoka Pazinčice iz 1997. godine. Tada je kroz puknutu cijev između spremnika energenata i kotlovnice poduzeća KTI Pazinka d.d., došlo do nekontroliranog izlivanja veće količine mazuta. Mazut je zajedno s otpadnim vodama tvornice dospio, prvo u bujični vodotok Šaltarija, a zatim i u nizvodni dio korita Pazinčice i ponorni dio Pazinske jame. Tom prilikom u sklopu sanacijskih mjera provedene su intenzivne aktivnosti na uklanjanju zagađenja od izlivanja mazuta. Provedbom recentnih istraživanja prisutnost zagađenja je uočena na većim površinama sedimenta (Slika 3.8.17).

Pored zagađenja mazutom uočena su zagađenja sedimenta koja su u razdoblju 1980.-1990. godine dolazila kao otpad tvornice za obradu kamena. Radi se o česticama od brušenja kamena, koja su se nakon ispiranja vodom taložila u bazenima tvornice, a kasnije su ispuštana u vodotok Pazinčice. Ovo zagađenje se nalazi na manjim površinama sedimenta kod Martelovog jezera (Slika 3.8.17).



Slika 3.8.17. Zagađenje sedimenta mazutom (lijevo) i talogom od ispiranja kamena (desno)

Prilikom monitoringa provedenog 2. lipnja 2018. godine utvrđeno je i novo akcidentno zagađenje. Uslijed jake bujične provale u slivu bujice Dražej, na odlagalištu inertnog otpada „Lakota“ došlo je do urušavanja hidrotehničkog tunela/korita spomenute bujice Dražej preko kojeg se nasipava otpad iz tvornice za preradu kamena. Pri tome su na tone materijala isprane putem bujice Dražej neposredno u vodotok Pazinčice te kasnije u podzemlje (Slika 3.8.18).



Slika 3.8.18. Zagađenje talogom iz odlagališta Lakota

Pregledom situacije ispod površine vode u završnom dijelu jezera utvrđena je velika količina nanosa koji se sastoji od drvenih trupaca i sedimenta, te otpada. Gruba procjena volumena materijala iznosi 1.000 – 1.500 m³. Debljina nanosa se postepeno povećava od sredine jezera u kojem iznosi 0,5 - 1m do završnog dijela jezera, u dijelu gdje se nalazi sifon i u tom dijelu iznosi preko 10 m debljine (Slika 3.8.19 i Slika 3.8.20). Nanos je kompaktan, trupci, grane i otpad su zbijeni od velikog tlaka vode koji se događa tijekom hidrološki aktivnijih razdoblja. Za vrijeme istraživanja hidrološki uvjeti su bili stabilni, vodostaj niži i pod vodom je primijećen vrlo slabi tok koji je odlazi sa površine jezera u sifon.



Slika 3.8.19. Nanosi ispod površine jezera



Slika 3.8.20. Nanosi na dnu jezera

Osim podvodnih pukotina, na površini stijene iznad sifona, jasno je uočen rasjed orijentacije smjera SZ-JI. Upravo ove tektonske pukotine uzrokovane rasjedanjem omogućile su prolaz u prostor iza hidrogeološke barijere. Odvodne pukotine su manjih dimenzija, zapunjene su velikim količinama sedimenta i granja i trenutna pretpostavka je da nisu prolazne. Sifonski dio, koji je trenutno jedini prolaz dovoljno velik za pregled ronjenjem, je kanal visok 14 m i širok 2 m, koji u donjem dijelu također zapunjen granjem i trupcima (Slika 3.8.21).

Prije dolaska u Mitrovo jezero (prostor iza sifona) nalazi se hidrogeološka barijera koja uzrokuje prelijevanje vode iz jezera preko nje u niže dijelove kanala i ujedno služi kao zaustava, prirodna

retencija koja drži nivo jezera stabilnim. Za pretpostaviti je da u vrijeme hidrološki aktivnijeg razdoblja dolazi do preljeva barijere kroz pukotine u tom dijelu jezera. Za detaljnije istraživanje hidrogeološke barijere potrebno je izvršiti dodatna mineraloško-petrografska istraživanja, te istraživanja prostora nakon preljeva.



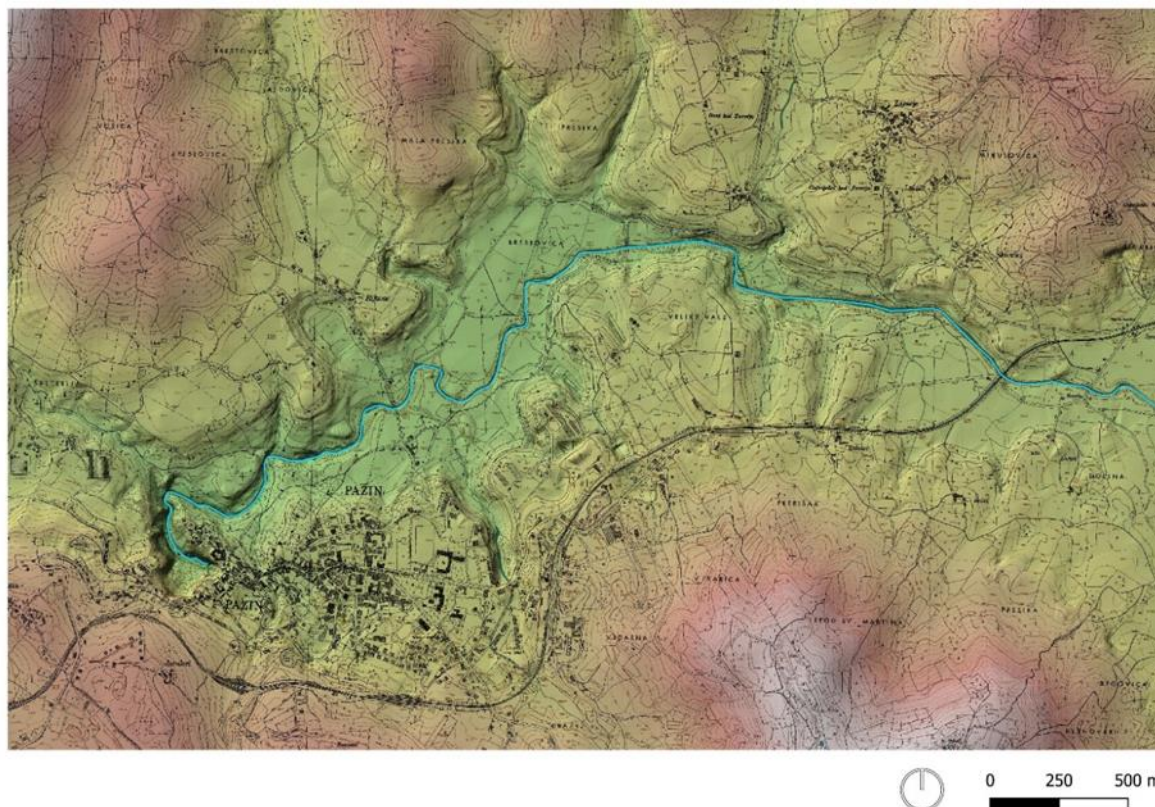
Slika 3.8.21. Ulaz u sifon i zaglavljeni trupac na ulazu

Najveći prolaz koji odvodi vodu iz jezera dimenzija je 14 x 2 m i duljine 30 m u prosjeku, odnosno volumena koji je procijenjen na oko 800 m³. Gruba procjena volumena samog jezera iznosi oko 15.000 m³. Prohodnost ovog prolaza također ovisi o donosu materijala te je vidljivo da je prolaz djelomično blokiran trupcima (Slika 3.8.21). Ronjenjem u dnu stijene uočeno je još 3 prolaza manjih dimenzija koji su zapunjeni granjem i sedimentom. Pretpostavka je sa su ovi prolazi u prošlosti imali puno veći kapacitet dreniranja jezera nego danas zbog zatrpavanja, ali i zbog rasta sigastih tvorevina. Radi procjene kapaciteta prostora za otjecanja vode iza sifona, potrebno je izvršiti dodatna speleološka i speleoronilačka istraživanja, te izraditi topografski nacrt novih prostora.

Osim uočene hidrogeološke barijere, na stijenama su uočene sigaste naslage. U ovom pregledu nije bilo moguće izvršiti procjenu debljine ovih naslaga. Međutim terenskim pregledom uočena je laminacija ovih naslaga koje ukazuju na dulju prisutnost freatske faze u speleogenezi Pazinske jame. Dijagenetski ove naslage ukazuju na period zatvaranja špiljskih kanala koji slijedi nakon perioda aktivnog rasta podzemnih pukotina. Za detaljnija istraživanja potrebno je izvršiti uzorkovanje i provesti mineraloško-petrografsku analizu, te izotopnu analizu ako bi se naslage htjele odrediti kao stratigrafsku jedinicu.

3.8.4. Geometrija predponorne zone Pazinske jame

Kako bi se procijenili bilančni međuodnosi za trajanja velikih voda u koritu Pazinčice, uz informacije o dotocima u tu zonu potrebni su bili i podaci o njenoj geometriji. Geometrija predponorne zone Pazinske jame definirana je iz digitalnog modela terena, koji je generiran na osnovu digitaliziranih izohipsi iz Hrvatske osnovne karte (HOK-a) u mjerilu 1:5.000. Pritom su digitalizirane sve izohipse u koraku od 2,5 m. Na ovaj način, moguće je generirati digitalni model terena razlučivosti ispod 5 m. Digitalizirani model terena prikazan je na Slici 3.8.22.



Slika 3.8.22. Digitalni model terena predponorne zone sliva Pazinčice generiran iz digitaliziranih izohipsi HOK-a

Na osnovu prostorne analize provedene u GIS okruženju te broja piksela unutar svakog razreda visine terena izvedene su krivulje površina i volumena. Na osnovu diskretnih vrijednosti površina i volumena za različite visine provedeno je izjednačavanje nelinearnim funkcijama. Pritom, na koti ispod ulaza u jamu (185 m n.m.) dodan je procijenjen volumen jame od 63.000 m³. Na Slici 3.8.23 prikazana je krivulja volumena koja se može opisati sljedećom uvjetnom jednadžbom (1):

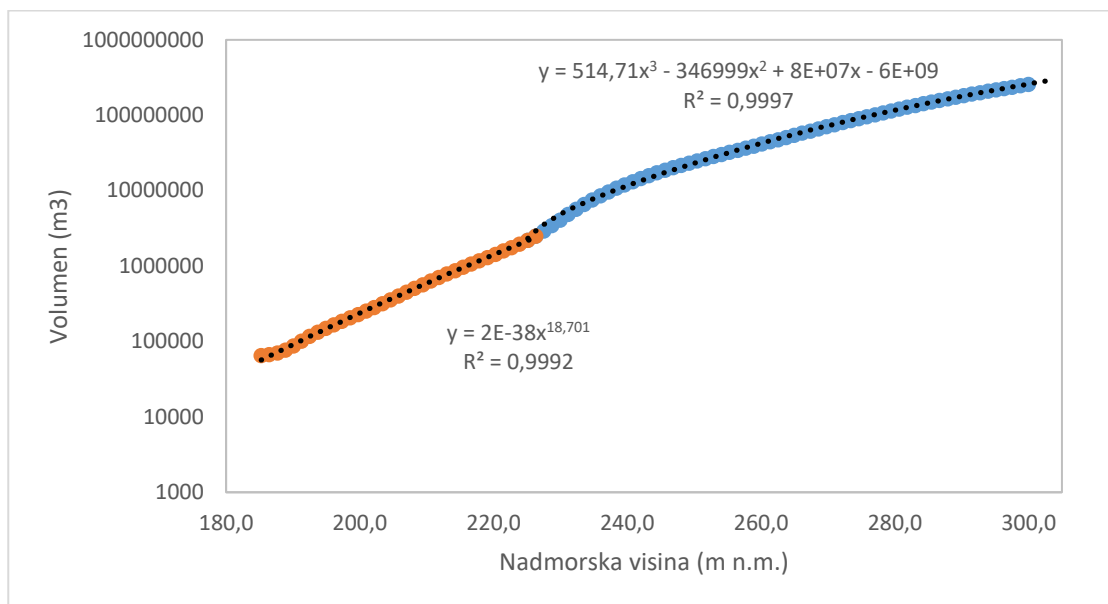
Za $180 < H < 225$ m n.m.:

$$V = 2,21075 \times 10^{-38} H^{18,701}$$

Za $225 \leq H < 300$ m n.m.:

$$V = 514,712 H^3 - 334999 H^2 + 7,848 \times 10^7 H - 5,95175 \times 10^9$$

Prosječna postotna pogreška jednadžbe (1) iznosi -0,73 %.



Slika 3.8.23. Krivulja volumena predponorne zone Pazinske jame

Na Slici 3.8.24 prikazana je krivulja površina koja se može opisati sljedećom uvjetnom jednadžbom (2):

Za $180 < H < 190$ m n.m.:

$$A = 0,4682 (H - 178)^4$$

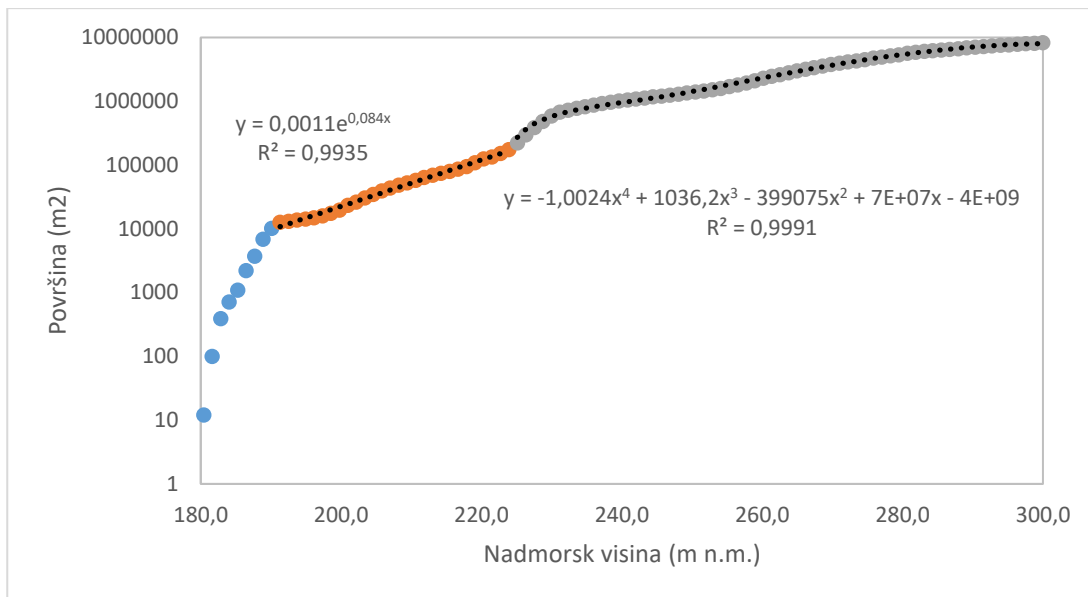
Za $190 \leq H < 224$ m n.m.:

$$A = 0,001145 e^{0,08396 H}$$

Za $224 \leq H < 300$ m n.m.:

$$A = -1,002431 H^4 + 1036,229 H^3 - 399075,1 H^2 + 67960,66H - 4,321888 \times 10^9$$

Prosječna postotna pogreška jednadžbe (2) iznosi -0,25 %.

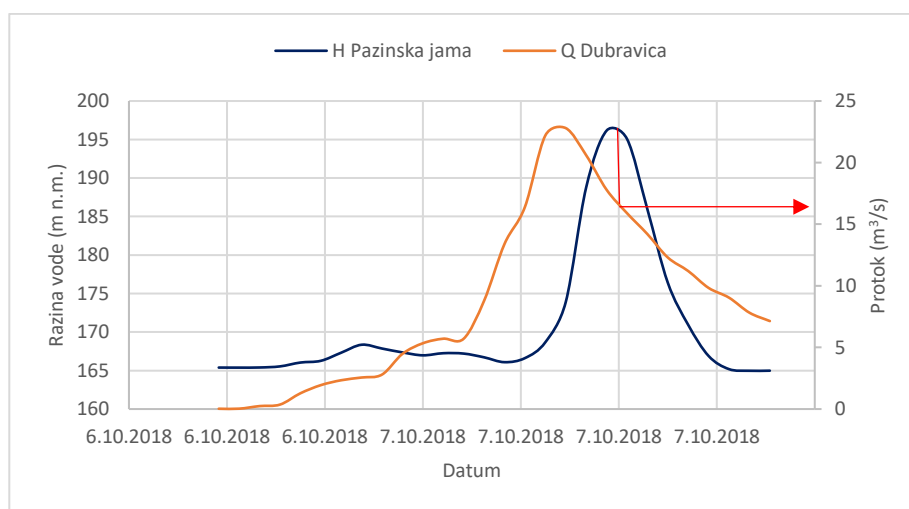


Slika 3.8.24. Krivulja površina predponorne zone Pazinske jame

3.8.5. Analiza kapaciteta ponora Pazinčice

Pojave velikih voda u slivu Pazinčice praćena su i poplavlivanja najnižvodnijeg dijela toka Pazinčice i do 2-3 km uzvodno od same Pazinske jame uslijed njenog nedovoljnog kapaciteta poniranja. Kao što je u prethodnim podtočkama točke 3.8. već spomenuto, problem kapaciteta ponorske zone i njegovog mogućeg smanjivanja uslijed taloženja naplavina na ulazu u najuže dijelove jamskog prostora odavno je prepoznat. No, samo je u jednom poznatom dokumentu provedena i procjena toga kapaciteta u kolićini od $35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Feresini, 2012), i to na temelju skromnog fonda podataka iz doba prije II. svjetskog rata. U istom dokumentu je istaknuta dilema oko toga što je osnovni uzrok ogranićenog kapaciteta – nedovoljna geometrija sifona na ulaznom dijelu u Pazinsku jamu ili pak uspor otjecanju površinskih voda Pazinčice kroz ponor uslijed podizanja podzemnih voda na širem prostoru središnjeg istarskog vodonosnika. Stoga su u okviru realizacije predmetnog recentnog programa istraživanja postavljen kao jedan od osnovnih ciljeva osiguranje dodatnih saznanja koja bi pomogla razrješenu te dileme, te utvrđivanju kapaciteta poniranja. Taj je kapacitet znaćajan i kao element za planiranje strategije daljnje zaštite toga područja od poplavnih voda, i kao velićina koja bi bila usporediva sa spomenutim povijesno procijenjenim kapacitetom. Također znaćajan je i kao neko novo nulto stanje kako bi se u budućnosti moglo ocijeniti učinak aktivnosti na čišćenju ponorske zone od naplavnog materijala, kao i ukoliko se takvo čišćenje ne provede, da li postoji trend smanjenja toga kapaciteta uslijed daljnjih taloženja naplavnog materijala.

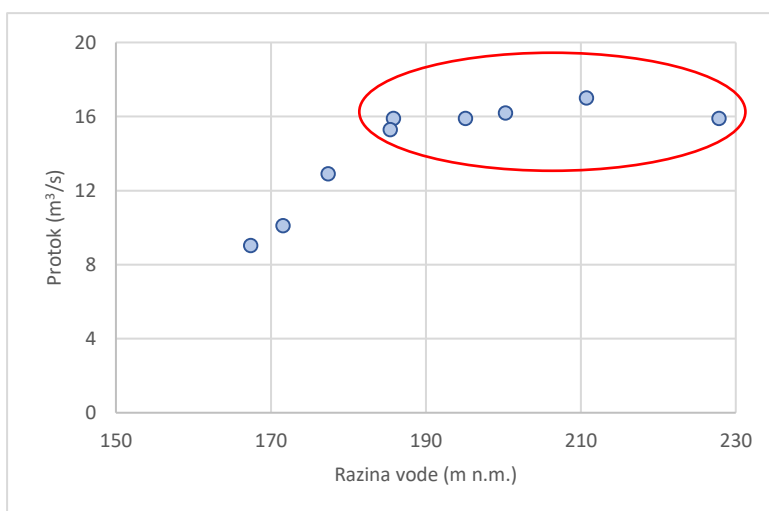
Preliminarnim sagledavanjima provedenim na osnovi usporedbe hidrograma na Pazinćici i nivograma u ponorskoj zoni zabilježenog tijekom trajanja dopunskog monitoringa na ulazu u jamu Pazinćice, utvrđeno je da se pri takvim poplavnim situacijama razina vode u ponorskoj zoni smanjuje tek kad se protoci Pazinćice na Dubravici spuste ispod reda velićine $16 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Slika 3.8.25), odnosno kad, uzimajući međuodnose površina/vrijednosti specifićnih otjecanja velikih voda međudotoka sliva između profila hidrološke postaje Dubravica i samoga ponora reda velićine oko $20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.



Slika 3.8.25. Usporedba razina vode u predponorskoj zoni/jami Pazinćice i protoka Pazinćice na hidrološkoj postaji Dubravica tijekom listopada 2018.g.

Utvrđeno je i da se slično ponašanje hidrološkog sustava ponorske zone Pazinčice manifestira i pri drugim analiziranim pojavama velikih voda tijekom analiziranog razdoblja 2018.-2019., čak i za vrlo različite razine vode u ponorskoj zoni (Tablica 3.8.2, Slika 3.8.26). Vidljivo je da za relativno niže maksimalne poplavne razine vode u ponorskoj zoni, dok su one praktički unutar geometrije same jame, postoji gradijent porasta protoka s porastom razine vode u jami. Tako je npr. pri koti 185,4 m n.m. koja odgovara približno koti ulaza u jamu (185 m n.m.) kapacitet poniranja oko $15 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Još desetak metara povećanja stupca vode uvjetuje relativno skromno povećanje kapaciteta protjecanja kroz ponorsku zonu za još oko $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, nakon čega se on ne povećava, pa makar se razine vode podizale još za daljnjih 30-tak metara. To ukazuje da je pri pojavama vodnih valova vršnim protocima Pazinčice na postaji Dubravica, kapacitet Pazinske jame ograničen na približno oko $20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

	Razna vode (m n.m.)	Protok pri opadanju vodostaja (m^3/s)
7.10.2018	195,1	15,9
30.10.2018	177,4	12,9
8.12.2018	171,6	10,1
3.2.2019	227,8	15,9
29.4.2019	185,8	15,9
9.5.2019	200,3	16,2
12.5.2019	185,4	15,3
24.5.2019	167,4	9,04
28.5.2019	210,7	17,0



Tablica 3.8.2 i Slika 3.8.26. Međuodnos razine vode u ponorskoj zoni Pazinčice i protoka Pazinčice na postaji Dubravica u situaciji kad se razina vode u ponorskoj zoni počinje snižavati

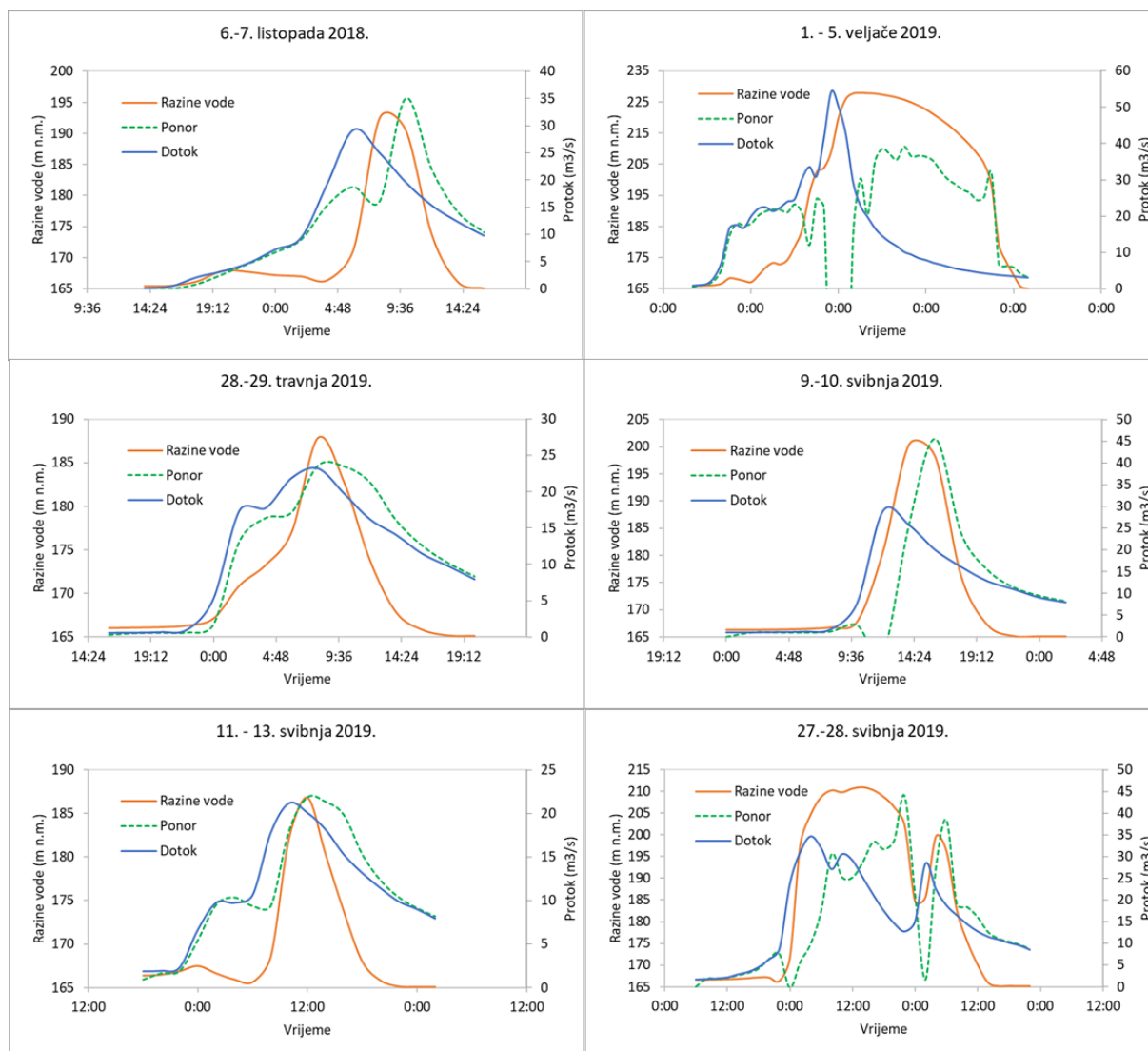
Kako bi se dobili još preciznije informacije o značajkama poniranja u Pazinsku jamu, provedena je i detaljna analiza koja je uzela u obzir ne samo dotoke Pazinčice nizvodno od hidrološke postaje Dubravica, nego i dinamiku promjena volumena u ponorskoj zoni. Provedena je na osnovu monitoringa razina vode u Pazinskoj jami i njenom pretpostoru, prikazanog u poglavlju 2. Na osnovu izmjerenih protoka na profilu Dubravica i razina vode u Pazinskoj jami te prethodno definiranih krivulja volumena predponorske zone (Slika 3.8.23) moguće je procijeniti kapacitet ponora Pazinčice. Navedena analiza provedena je pomoću hidrološko-hidrauličke analize, odnosno rješavanjem jednadžbi očuvanja mase:

$$\frac{dV}{dt} = Q_{ul} - Q_{iz}$$

gdje je V volumen vode u predponorskoj zoni, Q_{ul} ulazni protok, odnosno protok na profilu uzvodno od Pazinske jame, Q_{iz} izlazni protok, odnosno protok kroz ponor, a dt vremenski korak.

Ulazni protok procijenjen je s obzirom na izmjerene protoke na profilu Dubravica, koji su uvećani za faktor 1.3, što se pokazala kao prosječna vrijednost razlike protoka na profilu Dubravica i Pazinske jame za sve hidrauličke analize provedene u poglavlju 3.5., a što odgovara i međuodnosu

površine ukupnog sliva Pazinčice (77,37 km²) i površine njenog sliva na profilu hidrološke Dubravica (59,22 km²) gdje je prirast površine sliva nizvodno od Dubravice veći za spomenutih 30% u odnosu na površinu sliva na Dubravici. Volumen vode u predponorskoj zoni izračunat je iz izmjerenih razine vode i krivulje volumena. Pritom je odabran vremenski korak od 2h, kako bi se uprosječila moguća odstupanja između mjerenja protoka na Dubravici i mjerenja razina vode u Pazinskoj jami. Ukupno je odabrano šest događaja tijekom kojih je zabilježeno povećanje razine vode u Pazinskoj jami. Rezultati proračuna prikazani su na Slici 3.8.27.



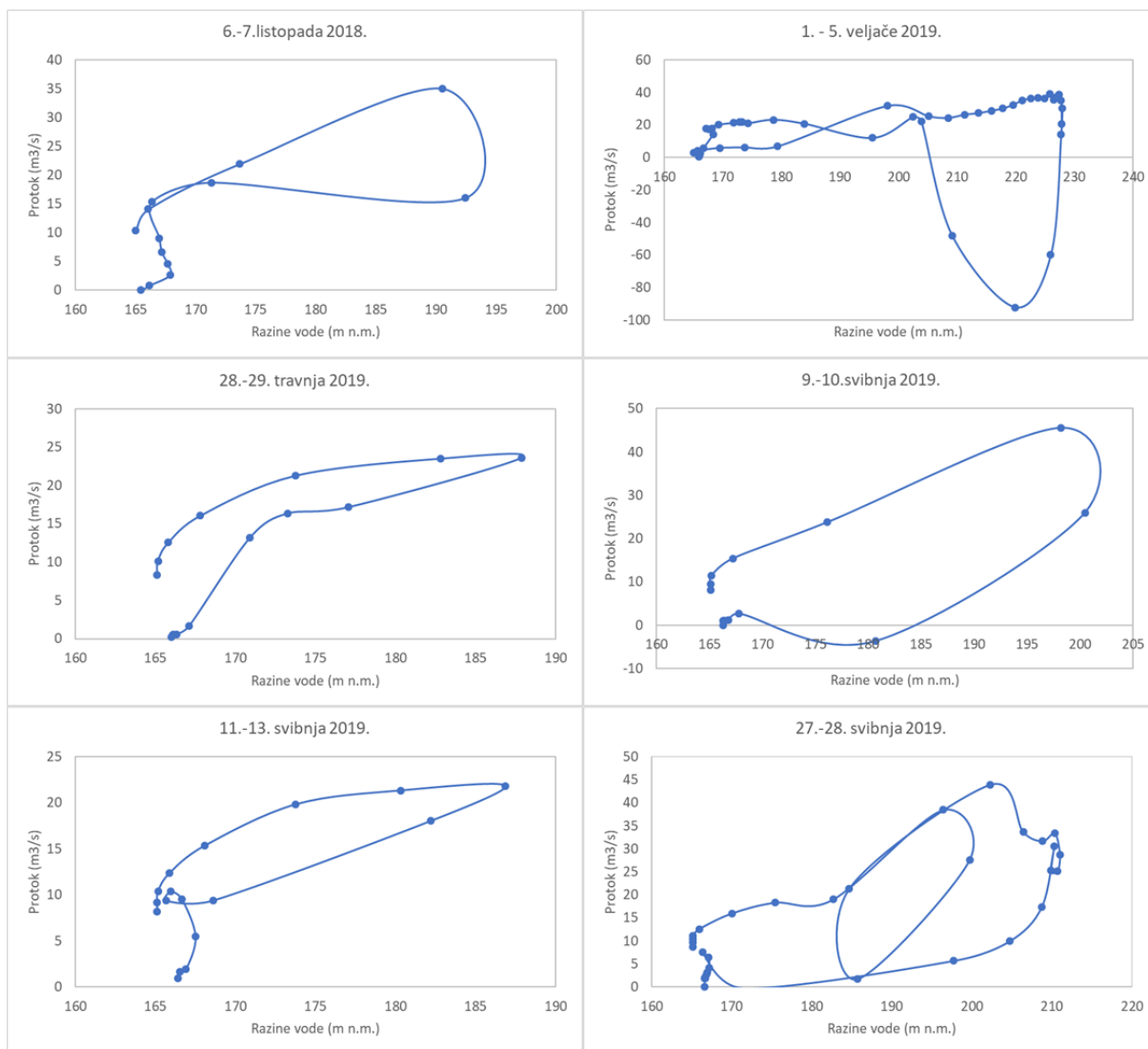
Slika 3.8.27. Rezultati hidrauličke analize protoka kroz ponor Pazinske jame tijekom 2018. i 2019. godine

Iz današnje prikaza vidljivo da je izračunati kapacitet ponora promjenjiv, i to ne samo ovisno o razini vode u ponorskoj zoni, nego i o hidrološkoj situaciji. Rijetko kad, i to samo kod relativno nižih poplavnih razina, maksimalni kapacitet koincidira s najvišom razinom vode u ponorskoj zoni. Kod većih poplavnih razina, maksimalni kapacitet poniranja se javlja s vremenskim odmakom nakon pojave maksimalne razine vode od par sati.

Maksimalni kapacitet poniranja kod nižih razina vode kada se još ne javljaju poplave u predponorskom prostoru, odnosno kod razina vode reda veličine do oko 185 m n.m. kolika je kota ulaza u jamu, iznosi oko 20-tak m^3s^{-1} . Takve su bile situacije 28.-29.4.2019., 11.-13.5.2019.

No, u situacijama potopljenog ulaza u jamu, odnosno pri višim razinama, kapacitet poniranja poprima, ovisno o analiziranoj hidrološkoj situaciji, vrlo različite vrijednosti, a kapaciteti poniranja kreću se u rasponu od 0 (čak ponekad i s negativnim predznakom koji, ukoliko se ne radi o greški uvjetovanoj preciznošću proračuna, ukazuje na teoretsku mogućnost da u takvim iznimnim situacijama ponor Pazinčice moguće radi i kao estavela) i $45 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ koliko je utvrđen približni maksimalni kapacitet poniranja u situacijama 9.-10.5. 2019. i 27.-28.5. 2019., no tijekom kojih se on značajno mijenjao i padao čak i ispod nule. No, moguće je da je dio tih razlika kao i spomenute negativne vrijednosti posljedica vremenskog pomaka u bilježenju podataka na DHMZ-ovoj postaji Dubravica i praćenja na logerima u ponorskoj zoni postavljenim u okviru programa dopunskog monitoringa. Najviše vrijednosti poplavnih voda zabilježene su dne 3. veljače 2019. godine, kada je razina vode prešla 225 m n.m. Maksimalni izračunati protok kroz ponorsku zonu tijekom tog događaja iznosio je $39 \text{ m}^3/\text{s}$. No, vidljivo je da je tijekom te epizode, u vrijeme najvećih prirasta vodostaja u predponorskoj zoni, kapacitet ponora bio čak i blizak nuli.

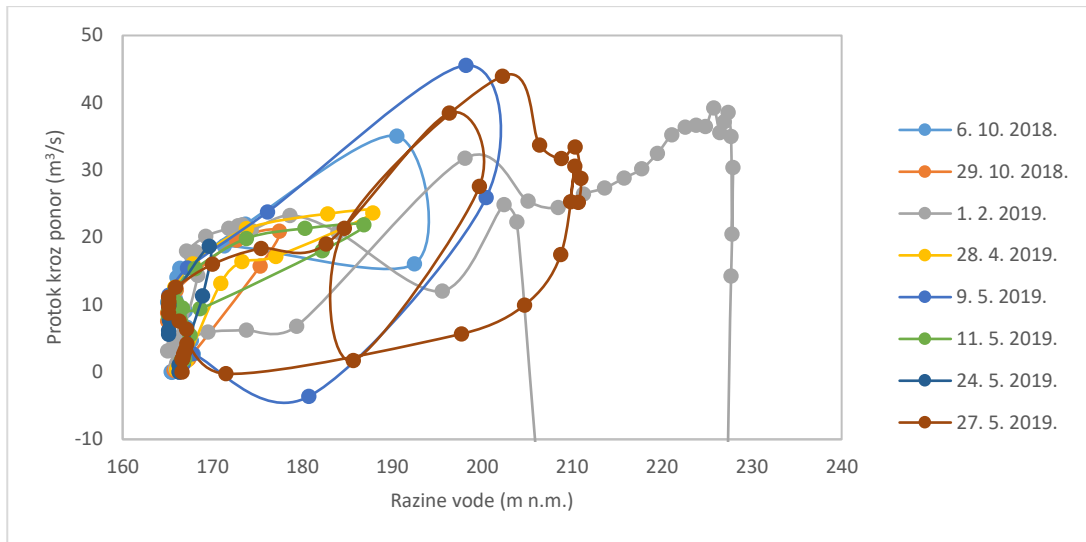
Odnos diskretnih vrijednosti izmjerenih razina vode i izračunatih protoka kroz ponor trebao bi definirati protočnu krivulju ponora Pazinčice. Na slici 3.8.28 prikazana je protočna krivulja ponora za svaki pojedinačni događaj. Iz prikazanih dijagrama protočnih krivulja može se zaključiti kako je odnos razine vode i protoka kroz ponor varijabilan i pokazuje izraženu histerezu, odnosno različitu zavisnost protoka kroz ponor i razine vode za uzlaznu i silaznu granu nivograma. Stoga se može zaključiti kako protok kroz ponor Pazinčice ne ovisi samo o trenutnoj razini vode, već i o prethodnim stanjima te razinama i volumenima dotekle vode. Međutim primjetan je jasan trend koji ukazuje da uslijed viših razina vode ponor ima veći protočni kapacitet. Zanimljiv je spomenuti slučaj iz veljače 2019. godine, kada su i zabilježene najviše razine vode tijekom monitoringa, gdje izračunate vrijednosti kapaciteta poniranja ukazuju na trenutnu pojavu negativnih protoka kroz ponor, odnosno upućuju na činjenicu da ponor Pazinčice, ako su elementi na osnovu kojih je provedeno bilanciranje pouzdani, može djelovati kao estavela. Drugi zanimljiv slučaj je onaj s kraja svibnja 2019. godine kada je zabilježena dvostruka petlja protočne krivulje, koja je nastala kao rezultat dvostrukog vodnog vala, kao što se može primijetiti na slici 3.8.27 za isti događaj.



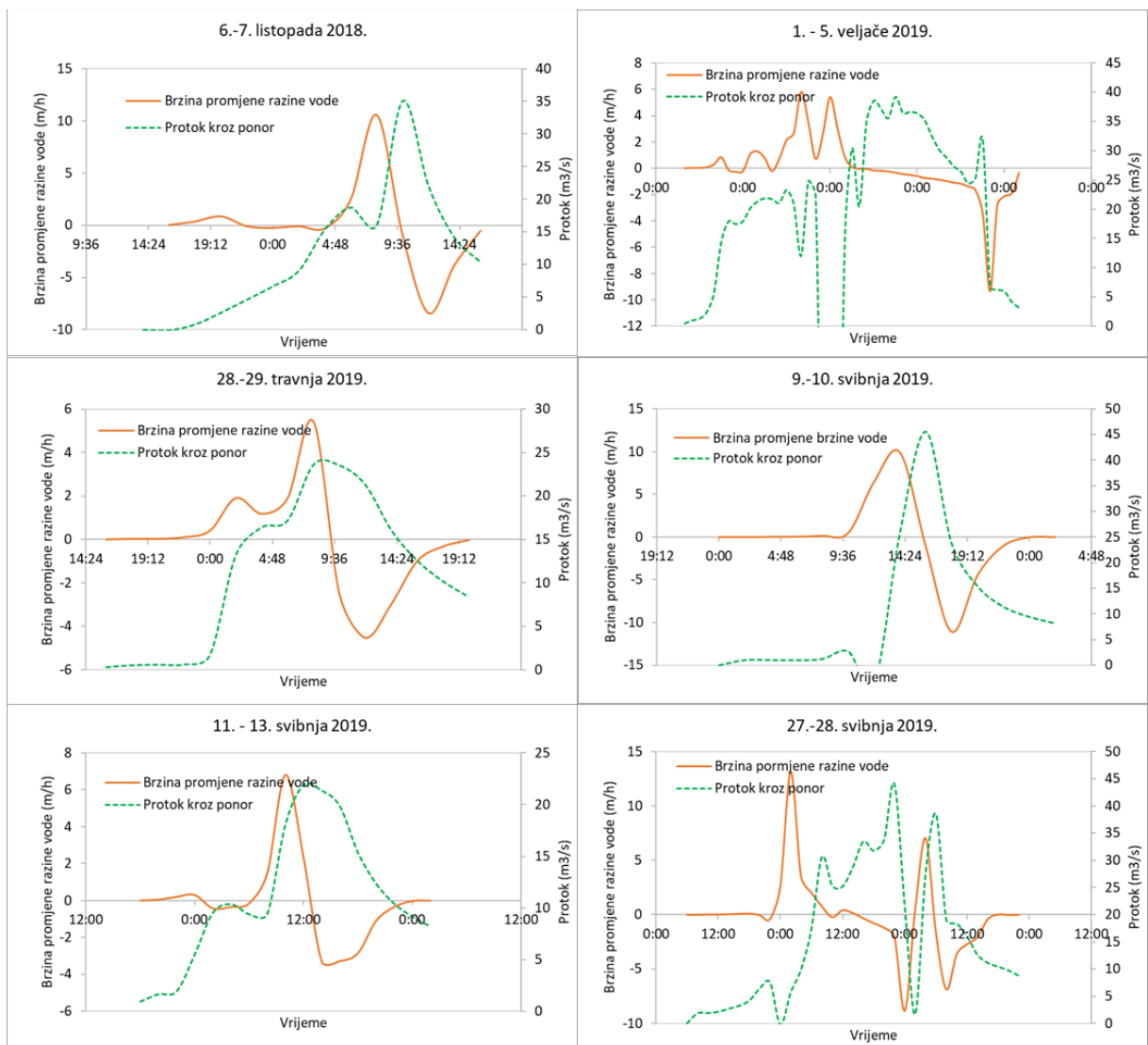
Slika 3.8.28. Izračunate protočne krivulje za šest odabranih događaja

Na Slici 3.8.29 prikazane su objedinjene protočne krivulje. Iz ovih podataka vidljivo je da nije moguće jednoznačno odrediti protočnu krivulju ponora izjednačavanjem krivulje prema parovima izračunatih vrijednosti razina vode i protoka kroz ponor.

Kako bi se detaljnije proučila dinamika vode u ponornoj zoni i Pazinskoj jami, na Slici 3.8.30 prikazane su brzine promjene izmjerenih razina voda usporedno s izračunatim protocima kroz ponor. Zanimljivo je primijetiti kako je u većini slučajeva (kada je maksimalna razina vode bila ispod 205 m n.m.) dinamika punjenja simetrična dinamici pražnjenja ponorne zone (listopad 2018., travanja i svibanj 2019.). Drugim riječima, približno isto vremena je potrebno da se ponorna zona napuni i isprazni, neovisno o volumenu i protoku Pazinčice. Iznimke su dva događaja kada su zabilježeni najveći protoci i maksimalne razine vode (veljača i kraj svibnja 2019.). U ta dva slučaja zabilježeno je mirno stanje između faza punjenja i pražnjenja ponorne zone, koja može trajati od nekoliko sati do nekoliko dana (u slučaju veljače 2019. godine). U oba slučaja, nakon faze mirovanja (zadržavanja visoke razine vode), ponorna zona i Pazinska jama se isprazni u kraće vremena nego što je bilo potrebno da se napuni što nesumnjivo pokazuje da na dinamiku poniranja utječe stanje u podzemlju.

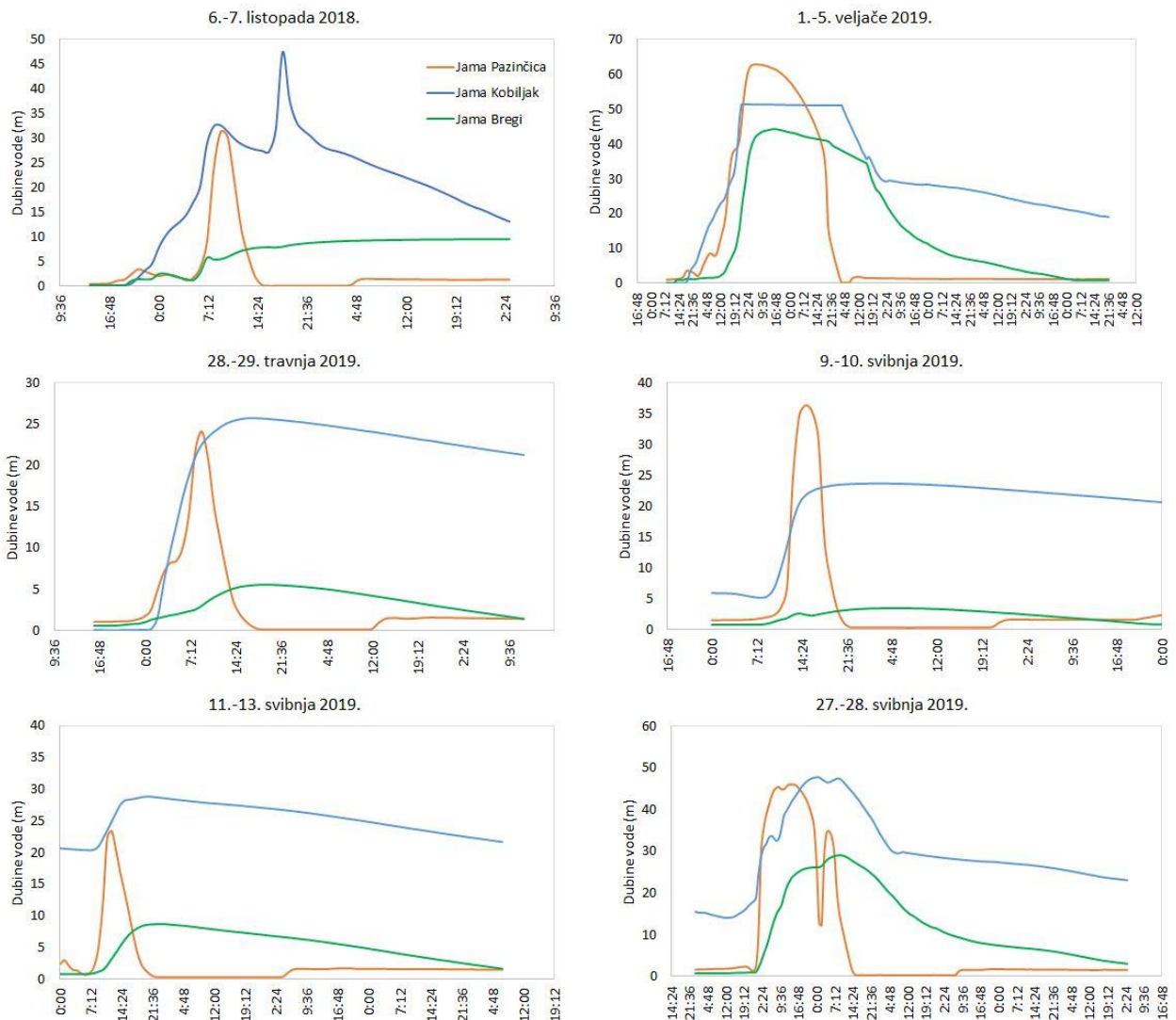


Slika 3.8.29. Zbirna protočna krivulja kroz ponor Pazinske jame



Slika 3.8.30. Brzine promjene izmjerenih razina vode i izračunatih protoka kroz ponor Pazinske jame

Kako bi se dodatno ispitali mogući uzroci dinamike pražnjenja ponorne zone Pazinčice, uspoređene su razine vode u Pazinskoj jami s razinama vode u jamama Kobljak i Bregi. Pritom, na slici 3.8.31 prikazane su dubine vode (u odnosu na minimalne razine vode) kako bi se omogućila direktnija usporedba. Za razliku od Pazinske jame, u kojoj su dinamika podizanja razina i spuštanja približno jednake (kod najviših razina vode), u jamama Kobljak i Bregi, spuštanje razine vode traje nekoliko puta dulje nego li punjenje jame. Slično je i u Pazinskoj jami u uvjetima prethodno relativno nižih razina vode.



Slika 3.8.31. Usporedba izmjerenih razina vode u jamama Pazinčica, Kobljak i Bregi

Unatoč tome što nije moguće jednoznačno definirati protočnu krivulju ponora Pazinčice, dodatno je provedeno uprosječenje dobivenih vrijednosti protočnih krivulja te uklanjanje određenih točaka s većim odstupanjem. Također, razdvojene se uzlazne i silazne grane nivograma te su definirane točke protočne krivulje zasebno za svaku fazu. Diskretne vrijednosti protočne krivulje dobivene naknadnom obradom prikazane su na Slici 3.8.32. Funkcije izjednačenja protočne krivulje dane su sljedećim izrazima:

Uzlazna grana za $165 < H < 175$ m n.m.:

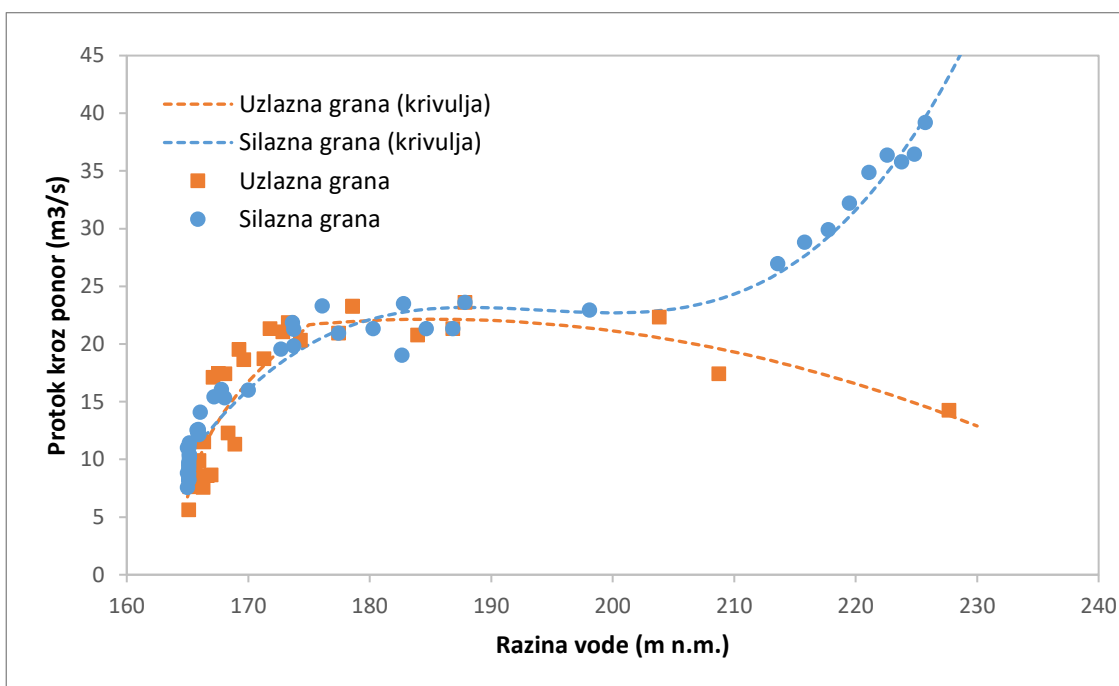
$$Q = 8,775(H - 164,5)^{0,3792}$$

Uzlazna grana za $H \geq 175$ m n.m.:

$$Q = -0,0046(H - 164,5)^2 + 0,1898(H - 164,5) + 20,19$$

Silazna grana za $165 < H < 230$ m n.m.:

$$Q = 5,918 \times 10^{-4}H^3 - 0,3447H^2 + 66,864H - 4296,48$$



Slika 3.8.32. Diskretne vrijednosti uprosječene protočne krivulje kroz ponor Pazinske jame za uzlaznu i silaznu granu nivograma

Vidljivo je da uzlazna grana protočne krivulje kapaciteta ponora Pazinčice ima trend porasta do razina 175 -185 m n.m., nakon čega slijedi pad – s porastom razine vode kapacitet se smanjuje što je posljedica vremenske komponente procesa protjecanja vode kroz ponorski dio – s porastom količine voda koja otječe u ponorsku zonu povećavaju se i razine podzemnih voda unutar speleosustava Pazinske jame te se smanjuje mogućnost prihvata voda iz nadzemnog dijela/pred ponorske zone Pazinčice. Nakon nekog vremena i postizanja maksimalnih razina vode u predponorskoj zoni, javlja se obrat situacije i počinje se sustav ponašati na uobičajen način za neusporena pražnjenja – pri većim razinama kapaciteti poniranja su veći, pa je tako maksimalni kapacitet poniranja proračunat s količinom od $39,2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, što je praktički dvostruko više od maksimalnog kapaciteta u uvjetima trajanja podizanja nivograma. To je moguće povezati sa stanjem podzemnih voda u dijelu speleosustava Pazinčice nizvodno od sifona, kao i s mehanizmom djelovanja samoga sifona i njegovog naglog pojačanog aktiviranja u uvjetima viših razina vode u predponorskoj zoni u situacijama smanjivanja uspora podzemnih voda u tim dubljim dijelovima jamskog speleosustava.

Interesantno je i usporediti povijesnu vrijednost kapaciteta ponorske zone od $35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ danu u knjizi Feresini (2012) s rezultatima recentnih istraživanja obzirom na protok vremena od najmanje 70-tak, pa i više godina. Ta je vrijednost vrlo bliska maksimalnom kapacitetu koji je utvrđen na osnovu podataka iz 2018. i 2019. godine, i ako se tako gleda, onda ne bi trebalo biti razloga zabrinutosti u smislu bojazni od smanjivanja kapaciteta uslijed nagomilavanja naplavina i drugoga otpada u jamskom prostoru pred sifonom. No, vjerojatnije je da u vrijeme kada je ta povijesna procjena napravljena, za najprije austrougarske a onda i talijanske uprave Istrom, iznesena procjena napravljena na osnovu puno manje podataka i to na metodološki uprošćeni način, kako je to dano na početku ovoga podpoglavlja, prema kojoj je najveća vrijednost srednjeg kapaciteta poniranja oko 20-tak m^3s^{-1} , koliko je i kapacitet poniranja za uzlaznu i silaznu granu nivograma prikazan na Slici 3.8.32 u dijelu gdje su oni izjednačeni. U tom slučaju moguće je da je zbog naplavina u ulaznom dijelu jamskog speleosustava došlo do djelomičnog smanjenja kapaciteta poniranja, te bi trebalo provesti čišćenje toga prostora kako ne bi došlo do daljnjeg smanjivanja kapaciteta.

No, za istaknuti je da je i u spomenutoj knjizi Feresini (2012) preneseno zapažanje ekspedicije u Pazinsku jamu iz kolovoza 1927.g. prema kojem „činjenica je da se taj odvod /odnosi se na sifon/ sve više začepkuje zbog taloženja otpada što ga donosi voda.. Može se dakle bez pretjerivanja pretpostaviti da nije daleko dan u kojem nabujala voda više neće u podzemlju pronaći svoj izlaz, pa će donji grad i okolna zemljišta naći u velikoj opasnosti od poplave“. Iako je praksa, odnosno proteklo razdoblje od gotovo 100 godina od toga obilaska i upozoravanja na pojačani rizik od poplava ukoliko se ne očisti ulaz u podzemni speleosustav, pokazala da ipak nije došlo do tako drastičnog začepkivanja ponorske zone i još naglašenijih poplava, ipak se dani prijedlog o nužnosti provedbe čišćenja treba aktualizirati i u današnjim uvjetima. Razlog tome je povećana količina naplavina i drugoga otpada, kao i povećanje rizika od pojave obilnijih oborina i njime uvjetovanih poplava u situacijama očekivanih daljnjih negativnih klimatskih utjecaja uslijed klimatskih promjena.

U kontekstu zapažanja vezanih uz kapacitet poniranja Pazinske jame također treba spomenuti i rad Maleza (1968) u kome se navodi da je „ustanovljeno da se u podzemlju ponora Pazinčice nalaze znatne količine naplavljenog raznog sedimentnog materijala i da taj materijal u znatnoj mjeri smanjuje odvodni kapacitet ponora.“

4. PROCJENA UTJECAJA KLIMATSKIH PROMJENA NA VODNI REŽIM PAZINČICE I S NJOME POVEZANIH VODNIH RESURSA

4.1. Općenito o utjecajima klimatskim promjenama na vodne resurse

Klima manifestira prirodne kao i antropogenim djelovanjem uvjetovane klimatske procese koji se odvijaju u okvirima cjelokupnog klimatskog sustava – kako u atmosferi, tako i u oceanima, tlu uključujući i ledeni pokrov, te vegetaciji, ekosustavima pa i samim čovjekovim aktivnostima. Na nekom području karakterizirana je vrijednostima srednjaka tipičnih klimatskih pokazatelja, kao i njihovim varijacijama, unutar nekog referentnog klimatskog razdoblja koje po preporukama WMO-a iznosi najmanje 30 godina. Klimatske promjene označavaju značajne i trajne promjene u statističkoj raspodjeli vremenskih pojava koje prelaze uobičajene raspone varijacija, i povezuje ih se s djelovanjem čovjeka kako zbog izgaranja fosilnih goriva, tako i promjenama korištenja zemljišta (deforestacija). Takve promjene se onda manifestiraju i u promjenama režima otjecanja.

Prema Rubiniću (2014), dinamika hidrološkog ciklusa i promjene režima otjecanja dominantno utječe na glavninu prirodnih procesa vodnih sustava. Stoga je poznavanje zakonitosti njihovih međuodnosa temelj za provođenje zaštitnih mjera upravljanja. Suvremeni pristupi upravljanja vodnim resursima traže aktivan odnos upravljača prema svim mogućim promjenama, kako već zabilježenim, tako i onima koje se očekuju u budućnosti. Stoga je, kako bi se na vrijeme prepoznali rizici od mogućih neželjenih promjena vodnog režima i s njim povezanim promjenama u budućnosti, te pripremile učinkovite mjere upravljanja kao aktivan odgovor na takve moguće neželjene promjene, nužno već u sadašnjosti imati razrađene različite scenarije mogućih promjena, kao i razrađene metode upravljačkih odgovora na njih. Posebno je to važno za upravljanje osjetljivim područjima kao što je sliv Pazinčice i s njime vezan vodonosnik središnjeg dijela istarskog poluotoka unutar kojih su prisutne posebne prirodne vrijednosti.

Vodni režim karakteriziraju različite promjene – kako na unutar godišnjoj vremenskoj skali, tako i na dugogodišnjoj. Zbog vremenske dinamike u okviru koje se odvijaju, promjene na unutar godišnjoj skali su uočljivije, a vodni ekosustavi, unatoč velikog intenziteta tih promjena, adaptirani su na takve unutargodišnje promjene abiotičkih uvjeta ukoliko ne prelaze u neka ekstremna stanja. Nasuprot tome, promjene vodnog režima na dugogodišnjoj vremenskoj skali, mada se odvijaju sa sporijom dinamikom i sporijim intenzitetom promjena, zbog čega se slabije i uočavaju, mogu uzrokovati trajnije promjene u ekosustavima. Utjecaje na te promjene mogu imati kako promjene/varijacije klimatskih značajki, tako i različiti antropogeni utjecaji - oduzimanje i promjena dinamike protjecanja voda uslijed različitih vidova njihova korištenja, različiti zahvati u slivu i toku, kao i količinski pritisci (oduzimanje dijela voda za potrebe opskrbe vodom) te pritisci na kakvoću vode, koji su posebno naglašeni tijekom razdoblja malih voda. No, i promjene vezane uz pojavnost velikih voda na području sliva Pazinčice, posebno dijela njenog vodnog sustava vezanog uz ograničeni kapacitet prihvata velikih voda u ponorskoj zoni, mogu imati iznimno velik značaj.

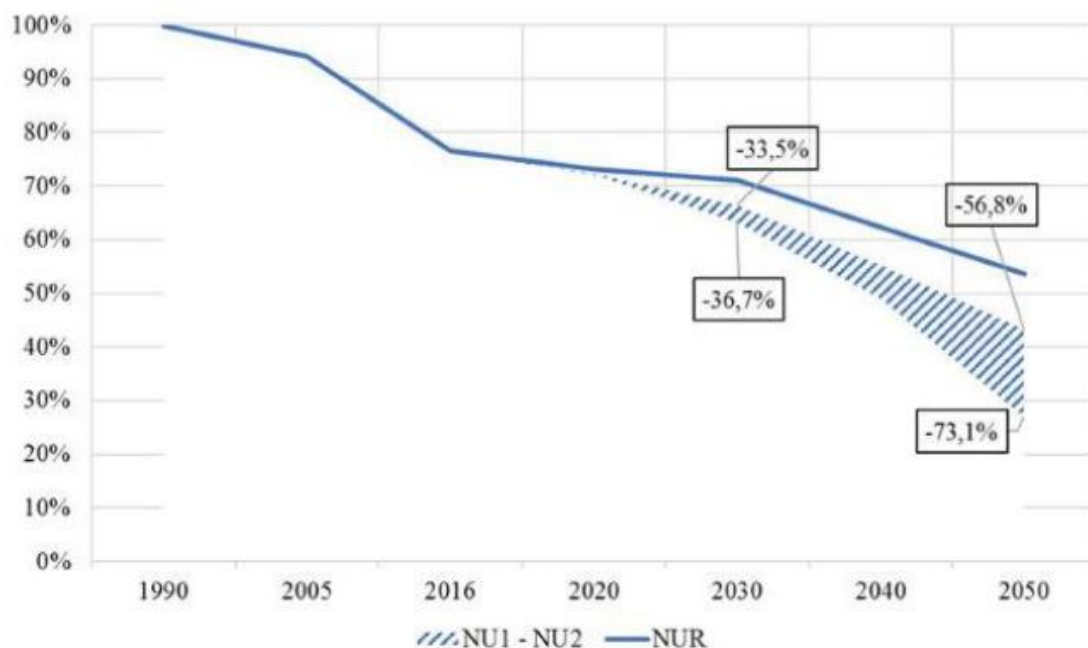
Klimatske promjene/varijacije uključuju cijeli niz povezanih promjena u ekosustavu. Direktno su ugrožene vrste s uskom ekološkom valencijom koje se ne mogu prilagoditi promjeni životnih uvjeta kao što je povišenje prosječne godišnje temperature vode, pojavi temperaturnih ekstrema itd. Osim

direktno ugroženih vrsta, utjecaj klimatskih promjena/varijacija indirektno pogađa i vrste sa širokom ekološkom valencijom zbog neraskidive povezanosti svih članova hranidbenih mreža. Na taj način dolazi do sinergije različitih okolišnih čimbenika te intraspecijskih odnosa koji rezultiraju remećenjem prirodne ravnoteže nekog ekosustava. Svaki poremećaj prirodnog ekosustava čini ga ranjivim prema cijelom nizu daljnjih negativnih utjecaja kao što su unos invazivnih vrsta, sposobnosti kompenzacije drugih okolišnih ekstrema kao što su dugotrajne suše, ekstremno veliki bujični tokovi itd.

Rizici od neželjenih promjena koje mogu uvjetovati klimatske promjene prepoznati su u svijetu, kao i kod nas, te se donose različite strategije smanjenja emisije ili prilagodbe na klimatske promjene. Tako je i Republika Hrvatska izradila cijeli niz službenih dokumenata u obliku zakona, propisa, uredbi i sektorskih strategija koji se svojim sadržajem odnose na klimatske promjene. Pri tome su prisutna dva komplementarna polazišta – s jedne strane mitigacija, odnosno ublažavanje uzroka a time i usporavanje dinamike klimatskih promjena, a s druge strane adaptacija, odnosno prilagodba nastalim i daljnjim očekivanim klimatskim promjenama. Tako je osnovni strateški dokument u RH koji tematizira ublažavanje klimatskih promjena nedavno donesena „Strategija niskougljičnog razvoja RH do 2030. i s pogledom na 2050.“ (NN 63/21). U spomenutoj strategiji zauzeto je stanovište potrebe poticanja tranzicije na niskougljični razvoj s ciljem postizanja klimatske neutralnosti 2050. godine te jačanje otpornosti na klimatske promjene. Scenarij neto nulte emisije analizirat će mogućnosti kako na troškovno učinkovit način i putem društveno pravedne tranzicije postići nultu neto stopu emisija stakleničkih plinova u 2050. godini. Prema tom dokumentu razmatrani su slijedeći glavni scenariji: Referentni scenarij (NUR), Scenarij postupne tranzicije (NU1) i Scenarij snažne tranzicije (NU2), kao i Scenarij neto nulte emisije (klimatska neutralnost).

Referentni scenarij NUR predstavlja nastavak postojeće prakse, u skladu s važećim zakonodavstvom i prihvaćenim ciljevima do 2030. godine. Ovaj scenarij pretpostavlja tehnološki napredak i rast udjela obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti temeljem tržišne situacije i danas utvrđenih ciljnih energetskih standarda. U odnosu na niskougljične scenarije za dostizanje ciljeva, to je scenarij s blažim povećanjem udjela obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti. Emisije u ovom scenariju se smanjuju za 28,9% u 2030. godini te 46,3% u 2050. godini u odnosu na razinu emisije u 1990. godini. Udio obnovljivih izvora u ovom scenariju je 35,7% u 2030. godini, a 45,5% u 2050. godini. Ipak, ovaj scenarij ne vodi niskougljičnom gospodarstvu.

Scenarij postupne tranzicije (NU1) dimenzioniran je tako da se porast temperature održi unutar 2°C, a po mogućnosti i unutar 1,5°C. Tim scenarijem smanjuje se emisija stakleničkih plinova za 33,5% u 2030. godini i 56,8% u 2050. godini, u odnosu na 1990. godinu. Scenarij snažne tranzicije (NU2) je dimenzioniran s ciljem da se u 2050. godini postigne smanjenje emisije za 80% u odnosu na 1990. godinu. Scenarij neto nulte emisije (klimatska neutralnost) predviđa smanjenja emisija stakleničkih plinova do 2030. godine, s postojećeg -40% na -50 do -55%. Scenariji (NU1) i (NU2) vrlo su slični do 2030. godine, tako da ako Republika Hrvatska krene sa scenarijem postupne tranzicije (NU1) ima vremena preusmjeriti se na ambiciozniji scenarij snažne tranzicije (NU2). Deklarirani cilj predmetne strategije je da putanja emisija stakleničkih plinova bude u rasponu između scenarija NU1 i NU2, s težnjom prema ambicioznijem scenariju NU2 (Slika 4.1.1).



Slika 4.1.1. Smanjenje emisije stakleničkih plinova NUR, NU1 i NU2 scenarijem (NN 63/21)

S druge strane, tijekom 2020. donesena je i Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u RH za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (NN 46/20), u kojoj su dani elementi strategije zaštite od negativnih utjecaja klimatskih promjena. Posebna je pozornost dana upravo zaštićenim područjima gdje je kao jedna od prioritarnih mjera, odnosno mjera vrlo visoke važnosti (istaknuta mjera HM-03-02). Poticanje provedbe istraživanja vezanih uz analizu mogućih scenarija klimatskih promjena na državnoj i regionalnoj razini (za potrebe istraživačkih i upravljačkih institucija), s ciljem utvrđivanja utjecaja klimatskih promjena, analize njihova utjecaja na vodne i morske resurse te povratno i utjecaje tih promjena na okoliš, urbana područja, infrastrukturne sadržaje, zaštićena područja te ljudske aktivnosti u većoj mjeri povezane s vodom (vodoopskrba, zaštita voda, poljoprivreda, hidroenergetika, itd.). Zaštićena područja, kao što je razmatrano područje Pazinčice i njena ponorska zona, su na više mjesta i dodatno spomenuta.

U ovom dokumentu provedene su globalne procjene utjecaja klimatskih promjena na vodne resurse u slivu Pazinčice i s njim vezanim izvorištem Rakonek u smislu ocjena utjecaja tih promjena na ukupnu godišnju bilancu voda/značajke pojava srednjih godišnjih protoka. Uz to, provedene su i procjene mogućeg utjecaja promjena u intenzitetima oborina na pojave velikih voda u slivu Pazinčice. Radi se o generalnim procjenama, temeljenim na više pretpostavljenih scenarija razvoja čovječanstva u budućnosti i njegove uspješnosti na ublažavanju emisije stakleničkih plinova, kao i s korištenjem više različitih klimatskih modela. Namjera provedenih obrada nije bila da se definira neko najvjerojatnije stanje u budućnosti, već da se dobije neki raspon mogućih promjena kako bi se, prateći stanja klimatskih prilika u budućnosti, moglo pravovremeno poduzimati odgovarajuća rješenja prilagodbe na njih.

4.2. Klimatske projekcije

4.2.1. Općenito o klimatskom modeliranju i metodologija

Analiza rezultata regionalnih klimatskih modela u predmetnoj studiji provedena je u tri faze:

- (1) Izdvajanje simuliranih vremenskih nizova za lokaciju Pazin kao središnju postaju za analizirani sliv Pazinčice i s njime povezani sliv izvorišta u dolini rijeke Raše
- (2) Primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka koristeći mjerenja na DHMZ postaji Pazin,
- (3) Analiza promjena i trendova u nizovima dobivenim u točki (2).

Ovako izvršena analiza prati metodologiju primijenjenu u ranijim studijama DHMZ-a, te članku Gajić Čapka i sur. (2017). U nastavku slijedi nekoliko tehničkih detalja vezanih za korištene modele i statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka, i uz to vezane pojmove koji su korišteni u predmetnom dokumentu.

Scenariji koncentracija stakleničkih plinova

Prema definiciji, u simulacijama koncentracije stakleničkih plinova do 2005. prate povijesne koncentracije, a od 2006. se primjenjuje tzv. RCP scenariji (reprezentativni scenarij koncentracije /engl. Representative Concentration Pathway). Korišteni scenariji u ovoj studiji su (1) umjereni scenarij porasta stakleničkih plinova u budućnosti RCP4.5 i (2) scenarij značajnije većeg porasta stakleničkih plinova, RCP8.5 (van Vuuren i sur. 2011).

Globalni klimatski modeli

Globalni klimatski modeli daju rubne uvjete za simulacije regionalnih klimatskih modela na manjem ograničenom području no s višom prostornom rezolucijom. Globalni klimatski modeli korišteni za takvo forsiranje regionalnih klimatskih modela analiziranih u ovoj studiji dolaze iz CMIP5 (Peta generacija Coupled model intercomparison project) projekta (Taylor i sur. 2012).

Regionalni klimatski modeli

Dva regionalna klimatska modela koriste se u ovoj studiji: RegCM4 (Giorgi i sur. 2012) prema simulacijama obavljenim od strane DHMZ za potrebe izrade Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu. (ovaj model je u nastavku studije označen kao DHMZ-RegCM4) te RACMO22E (Van Meijgaard i sur. 2008) prema simulacijama Kraljevskog meteorološkog instituta u Nizozemskoj (KNMI) obavljenim unutar EURO-CORDEX inicijative (ovaj model će je u nastavku studije označen kao KNMI-RACMO22E). U konačnici:

- (1) za model DHMZ-RegCM4 korišteni su rezultati simulacija neovisno forsiranih sa četiri globalna klimatska modela (CNRM-CM5, HadGEM2-ES, EC-EARTH i MPI-ESM-MR) te dva RCP scenarija. Ukupan broj simulacija je osam (četiri po RCP4.5 scenariju, četiri po RCP8.5 scenariju). Rezultati ovog modela dostupni su za razdoblje 1971. – 2070.

- (2) za model KNMI-RACMO22E korišteni su rezultati simulacija neovisno forsiranih sa rezultatima šest simulacija globalnih klimatskih modela (CNRM-CM5, HadGEM2-ES, NorESM1-M te tri neovisne EC-EARTH simulacije koje se međusobno razlikuju u početnim uvjetima) za scenarij RCP8.5 te rezultatima triju simulacija globalnih klimatskih modela (HadGEM2-ES te dvije neovisne EC-EARTH simulacije koje se međusobno razlikuju u početnim uvjetima) za scenarij RCP4.5. Rezultati ovog modela dostupni su za razdoblje 1951. – 2100.

Statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka

Jedan od osnovnih načina primjene statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka, a koji je korišten u predmetnom dokumentu, uključuje sljedeće korake:

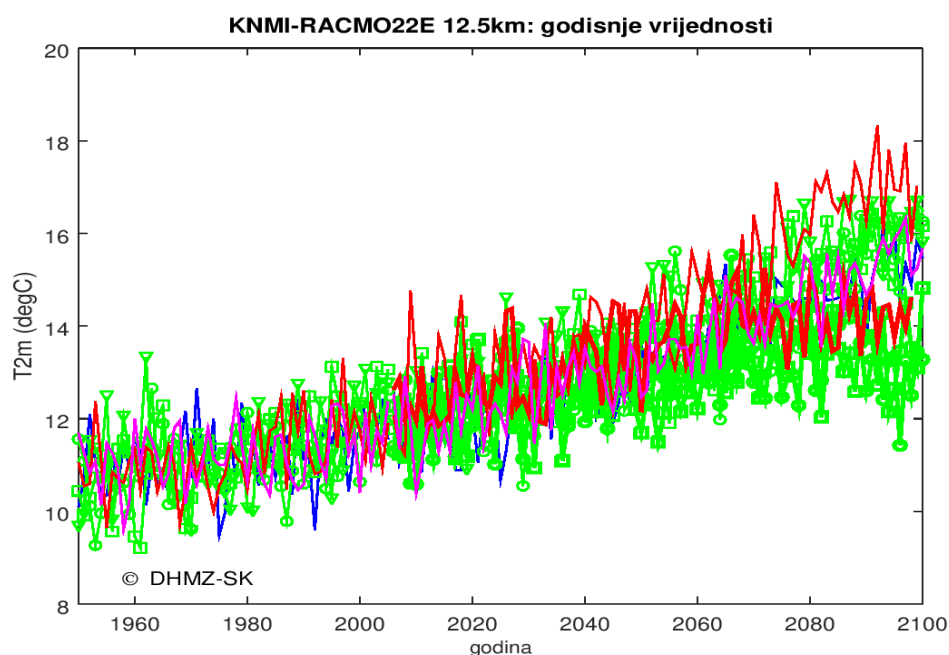
- (1) Iz podataka mjerenja s meteoroloških postaja definirati višegodišnje srednje mjesečne temperature zraka na 2 m i mjesečne količine oborine. U ovoj studiji su korišteni podaci s meteorološke postaje Pazin (iz mreže postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda). Za potrebe naručitelja srednji godišnji hodovi dani su za razdoblje 1961. – 1990.
- (2) Za istu lokaciju i isto razdoblje kao u (1) određuju se srednji simulirani godišnji hodovi. *Napomena: za model DHMZ-RegCM4 su u ovoj studiji srednji godišnji hodovi dani na temelju dostupnog niza za razdoblje 1971. – 1990.*
- (3) statističke korekcije se definiraju za svaki model, kao razlika između izmjerenih (točka 1) i modeliranih (točka 2) vrijednosti u slučaju srednje temperature zraka na 2 m, te kao omjer između izmjerenih i modeliranih vrijednosti u slučaju količine oborine.
- (4) statističke korekcije dobivene u točki (3) se primjenjuju na mjesečnoj razini za svaki mjesec u razdoblju 1951. – 2100. za model KNMI-RACMO22E te 1971. – 2070. za model DHMZ-RegCM4: za temperaturu zraka na 2 m kao aditivna statistička korekcija, za količinu oborine kao relativna statistička korekcija.

Više detalja vezanih za metodologiju dano je u radu Gajić Čapka i sur. (2017).

4.2.2. Rezultati provedenih klimatskih predikcija

4.2.2.1. Vremenski nizovi srednjih godišnjih temperatura zraka i godišnjih količina oborine

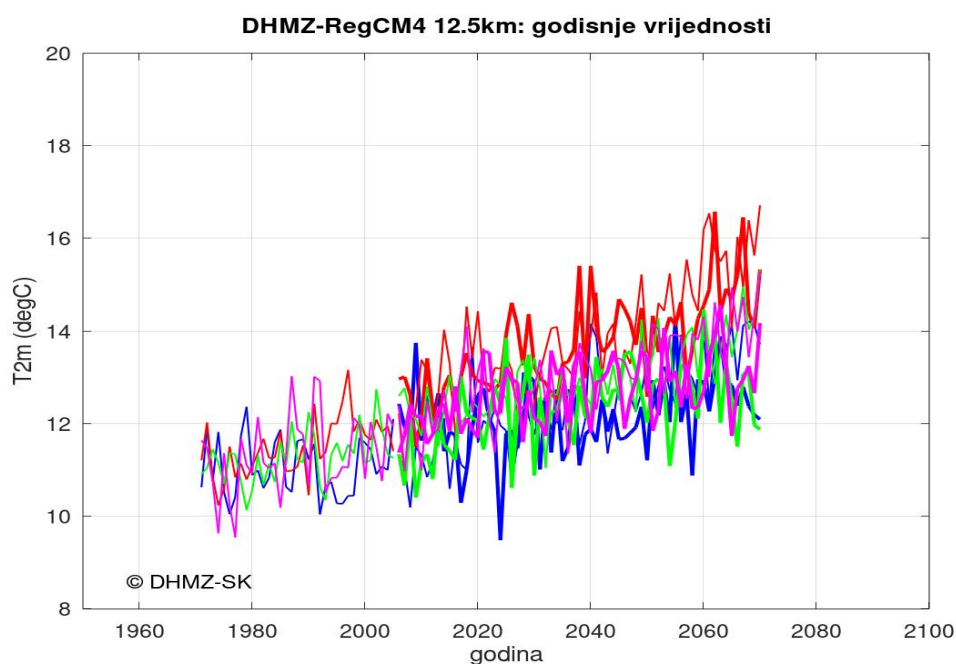
Vremenski nizovi srednje godišnje temperature zraka na 2 m ($T2m$) prema projekcijama regionalnog klimatskog modela (RCM) KNMI-RACMO22E ukazuju na nastavak zagrijavanja do kraja 21. stoljeća (Slika 4.2.1). Do jasnije divergencije između dvije skupine projekcija ovisne o scenariju koncentracija stakleničkih plinova (RCP4.5 i RCP8.5) dolazi u zadnjim desetljećima 21. stoljeća: u slučaju scenarija RCP4.5 dostignuto zagrijavanje do 2070.-tih se nastavlja do kraja 21. stoljeća, dok u slučaju RCP8.5 ne postoji indikacija zaustavljanja niti do samog kraja 21. stoljeća. Ovisno o RCM realizaciji, srednjak $T2m$ u razdoblju 1971. – 2000. (P0) je u rasponu od 11.2 °C do 11.5 °C, dok u razdoblju 2041. – 2070. (P2) doseže od 12.8 °C do 13.9 °C u RCP4.5, odnosno od 13.4 °C do 14.3 °C u RCP8.5. Istovremeno, postoji tendencija blagog porasta u varijabilnosti, gdje je standardna devijacija u rasponu 0.53 °C do 0.81 °C u P0 te od 0.66 °C do 0.73 °C za RCP4.5 scenarij, odnosno od 0.75 °C do 0.95 °C za RCP8.5 u razdoblju P2.



Slika 4.2.1. Vremenski niz srednje godišnje $T2m$. Model KNMI-RACMO22E, povijesne, RCP4.5 i RCP8.5 simulacije. Rubni uvjeti: plava linija CNRM-CM5, zelene linije EC-EARTH, crvena linija: HadGEM2-ES, ljubičasta linija: NorESM1-M; deblje linije: RCP4.5; tanje linije: RCP8.5.

U simulacijama RCM modelom DHMZ-RegCM4 nije očito razilaženje između dvije skupine simulacija do kraja dostupnog simuliranog razdoblja (do godine 2070., uključujući; Slika 4.2.2). Izraženo zagrijavanje nalazimo u obje simulacije (RCP4.5 i RCP8.5 scenariji) u kojima je RCM model DHMZ-RegCM4 forsiran globalnim klimatskim modelom (GCM) HadGEM2-ES (crvene linije na Slici 4.2.2). Ovisno o pojedinoj realizaciji, srednjak $T2m$ u razdoblju 1971. – 2000. (P0) je u rasponu od 11.0 °C do 11.4 °C, dok u razdoblju 2041. – 2070. (P2) doseže od 12.4 °C do 14.4 °C u RCP4.5, odnosno od 13.1 do 14.8 °C u RCP8.5. Istovremeno, postoji tendencija blagog do

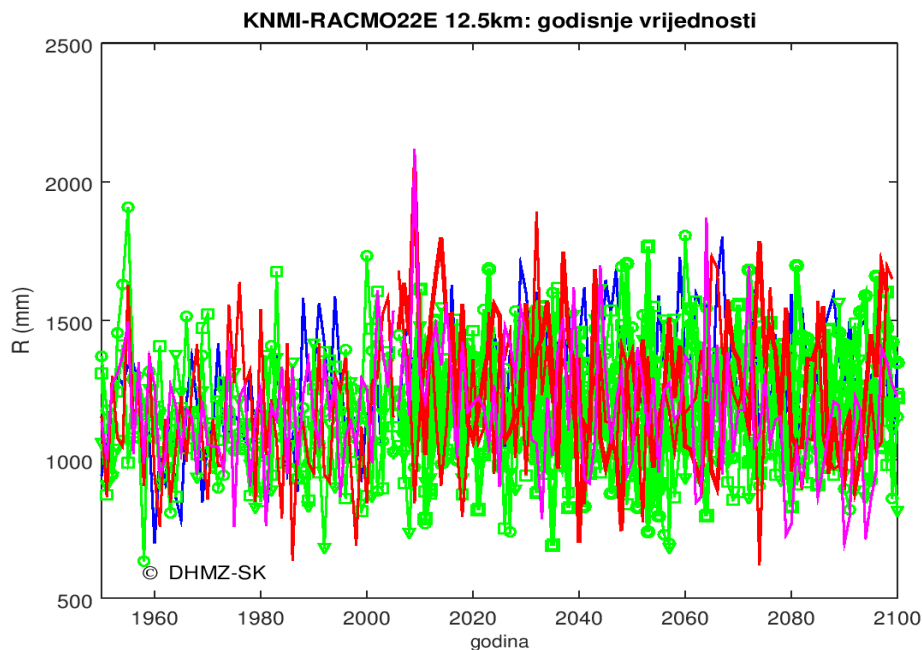
umjerenog porasta u varijabilnosti, gdje je standardna devijacija u rasponu 0.50 °C do 0.87 °C u P0 te od 0.69 °C do 0.84 °C za RCP4.5 scenarij, odnosno od 0.74 °C do 1.1 °C za RCP8.5 u razdoblju P2.



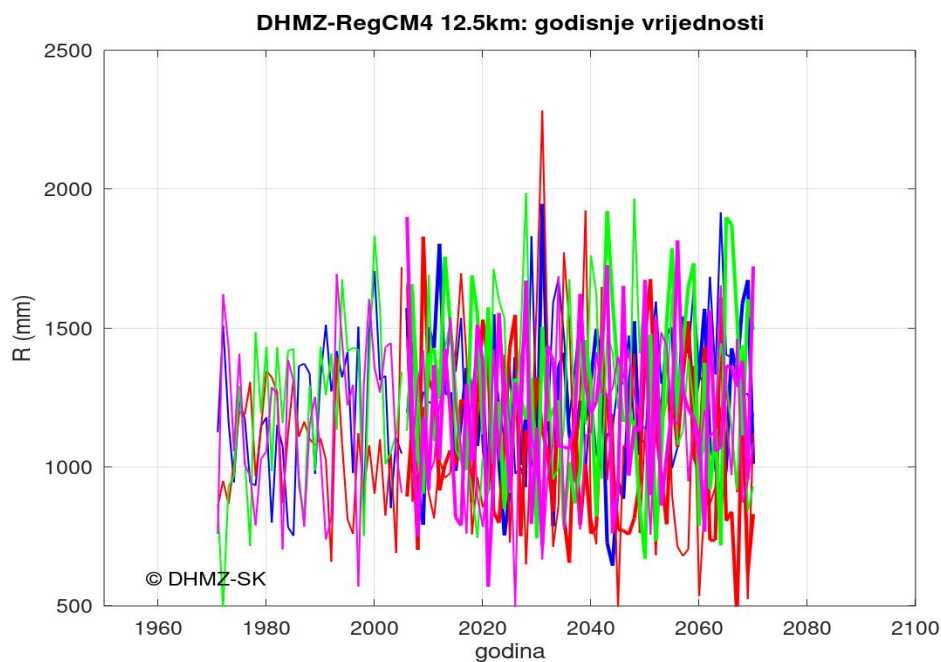
Slika 4.2.2. Vremenski niz srednje godišnje T2m. Model DHMZ-RegCM4, povijesne, RCP4.5 i RCP8.5 simulacije. Rubni uvjeti: plava linija CNRM-CM5, zelena linija EC-EARTH, crvena linija: HadGEM2-ES, ljubičasta linija: MPI-ESM-MR; deblje linije: RCP4.5; tanje linije: RCP8.5.

Uvid u vremenske nizove godišnje količine oborine (R) simulirane modelom KNMI-RACMO22E u simulacijama od 1951. do 2100. upućuje na relativno stabilne iznose, (Slika 4.2.3). Generalno, stabilnost simuliranih količina oborine je prisutna neovisno o scenariju (RCP4.5 i RCP8.5) i primijenjenim rubnim uvjetima (različiti GCM-ovi, odnosno varijacije u početnim uvjetima u slučaju modela EC-EARTH (zelene linije na Slici 4.2.3)). Ipak, međusobna usporedba srednjih vrijednosti unutar povijesnih i budućih razdoblja upućuje na određene promjene. Ovisno o pojedinoj realizaciji, srednjak R u razdoblju 1971. – 2000. (P0) je u rasponu od 1086.1 mm do 1184.8 mm, dok u razdoblju 2041. – 2070. (P2) doseže od 1133.8 mm do 1178.6 mm u RCP4.5, odnosno od 1185.8 mm do 1407.6 mm u RCP8.5. Istovremeno, varijabilnost pokazuje određenu stabilnost, gdje je koeficijent varijacije u rasponu 0.14 do 0.23 u P0 te od 0.18 do 0.19 za RCP4.5 scenarij, odnosno od 0.15 do 0.21 za RCP8.5 u razdoblju P2.

Simulacije godišnje količine oborine modelom DHMZ-RegCM4 za stogodišnje razdoblje 1971. – 2070. ukazuje na mogućnost povećanja u vrijednostima (Slika 4.2.4). Ovisno o pojedinoj realizaciji, srednjak R u razdoblju P0 je u rasponu od 1067.1 mm do 1199.5 mm, dok u razdoblju P2 doseže od 1033.6 mm do 1304.3 mm u RCP4.5, odnosno od 989.16 mm do 1314.5 mm u RCP8.5. Slično kao model KNMI-RACMO22E, varijabilnost pokazuje određenu stabilnost, gdje je koeficijent varijacije u rasponu 0.17 do 0.26 u P0 te od 0.22 do 0.30 za RCP4.5 scenarij, odnosno od 0.16 do 0.29 za RCP8.5 u razdoblju P2.



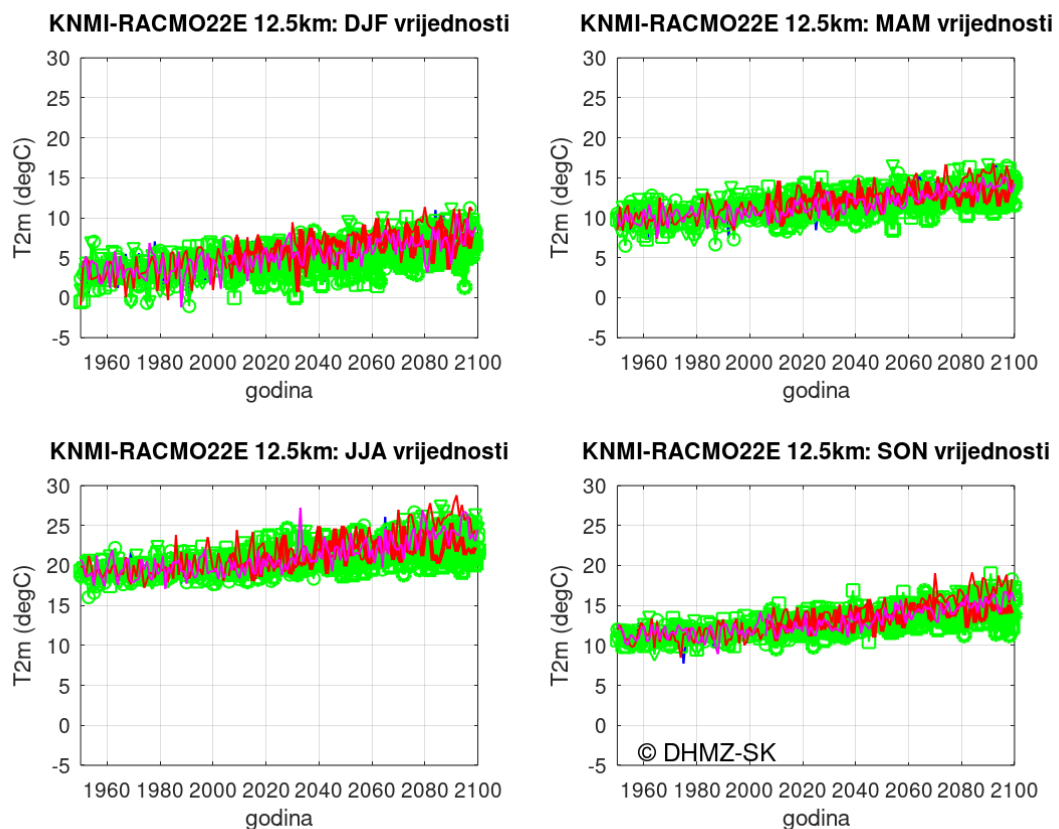
Slika 4.2.3. Vremenski niz godišnje količine oborine R. Model KNMI-RACMO22E, povijesne, RCP4.5 i RCP8.5 simulacije. Rubni uvjeti: plava linija CNRM-CM5, zelene linije EC-EARTH, crvena linija: HadGEM2-ES, ljubičasta linija: NorESM1-M; deblje linije: RCP4.5; tanje linije: RCP8.5.



Slika 4.2.4. Vremenski niz godišnje količine oborine R. Model DHMZ-RegCM4, povijesne, RCP4.5 i RCP8.5 simulacije. Rubni uvjeti: plava linija CNRM-CM5, zelena linija EC-EARTH, crvena linija: HadGEM2-ES, ljubičasta linija: MPI-ESM-MR; deblje linije: RCP4.5; tanje linije: RCP8.5.

4.2.2.2. Vremenski nizovi srednjih sezonskih temperatura zraka i sezonskih količina oborine

Vremenski nizovi srednjih sezonskih T_{2m} prema skupu KNMI-RACMO22E simulacija upućuju na zagrijavanje u svim sezonama (Slika 4.2.5). Kao i za godišnje srednjake, veću amplituda zagrijavanja nalazimo u scenariju RCP8.5 u odnosu na RCP4.5 tek u zadnjem tridesetogodišnjem razdoblju (2071. – 2100.). Izražene klimatske promjene tijekom 21. stoljeća vidljive su povećanju zimskih (DJF) srednjih T_{2m} na kraju 21. stoljeća, do iznosa srednjih proljetnih (MAM) i jesenskih (SON) T_{2m} tijekom 50.-tih i 60.-tih godina 20. stoljeća. Tablica 4.2.1 sažima raspon srednjih sezonskih temperatura zraka iz analiziranih KNMI-RACMO22E simulacija u razdobljima 1971. – 2000. (P0) i 2041. – 2070 (P2).

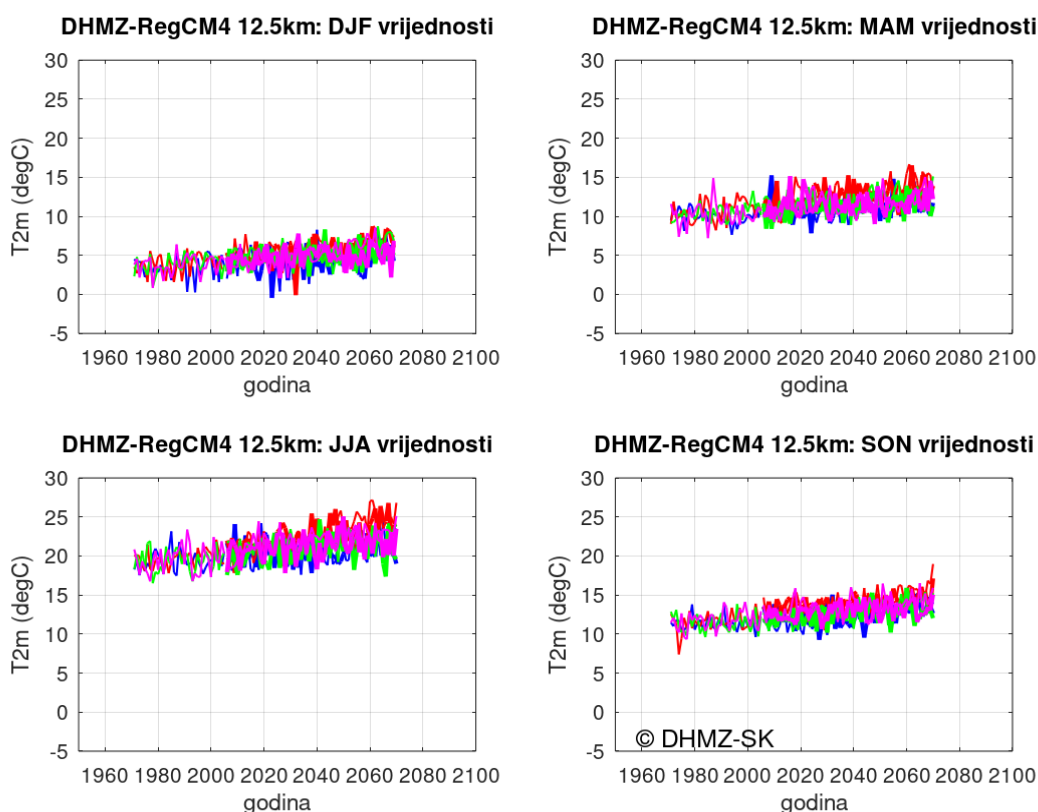


Slika 4.2.5. Vremenski niz srednje sezonske T_{2m} . Model KNMI-RACMO22E, povijesne, RCP4.5 i RCP8.5 simulacije. Rubni uvjeti: plava linija CNRM-CM5, zelene linije EC-EARTH, crvena linija: HadGEM2-ES, ljubičasta linija: NorESM1-M; deblje linije: RCP4.5; tanje linije: RCP8.5.

Tablica 4.2.1. Raspon srednjih sezonskih temperatura zraka T2m iz analiziranih KNMI-RACMO22E simulacija u razdobljima 1971. – 2000. (P0) i 2041. – 2070 (P2). Mjerna jedinica: °C.

	1971. – 2000.		2041. – 2070. RCP4.5		2041. – 2070. RCP8.5	
	min	max	min	max	min	max
Zima / DJF	3.5	4.1	4.7	6.9	5.3	7.0
Proljeće / MAM	10.3	10.6	11.9	12.6	12.1	13.3
Ljeto / JJA	19.4	19.8	21.3	22.3	21.0	22.6
Jesen / SON	11.4	11.7	13.3	13.9	13.7	14.6

Model DHMZ-RegCM4 daje sličnu strukturu zagrijavanja kao KNMI-RACMO22E u preklapajućem razdoblju (1971. – 2070.; Slika 4.2.6). I u ovim projekcijama, zagrijavanje se očekuje u svim sezonama, neovisno o pretpostavkama RCP scenarija i primijenjenim rubnim uvjetima. Također, kao u slučaju srednjih godišnjih temperatura, očito je izraženije zagrijavanje, posebno u ljetnoj (JJA) sezoni, u slučaju rubnih uvjeta iz globalnog model HadGEM2-ES. Tablica 4.2.2 sažima raspon srednjih sezonskih temperatura zraka iz analiziranih DHMZ-RegCM4 simulacija u razdobljima 1971. – 2000. (P0) i 2041. – 2070 (P2).

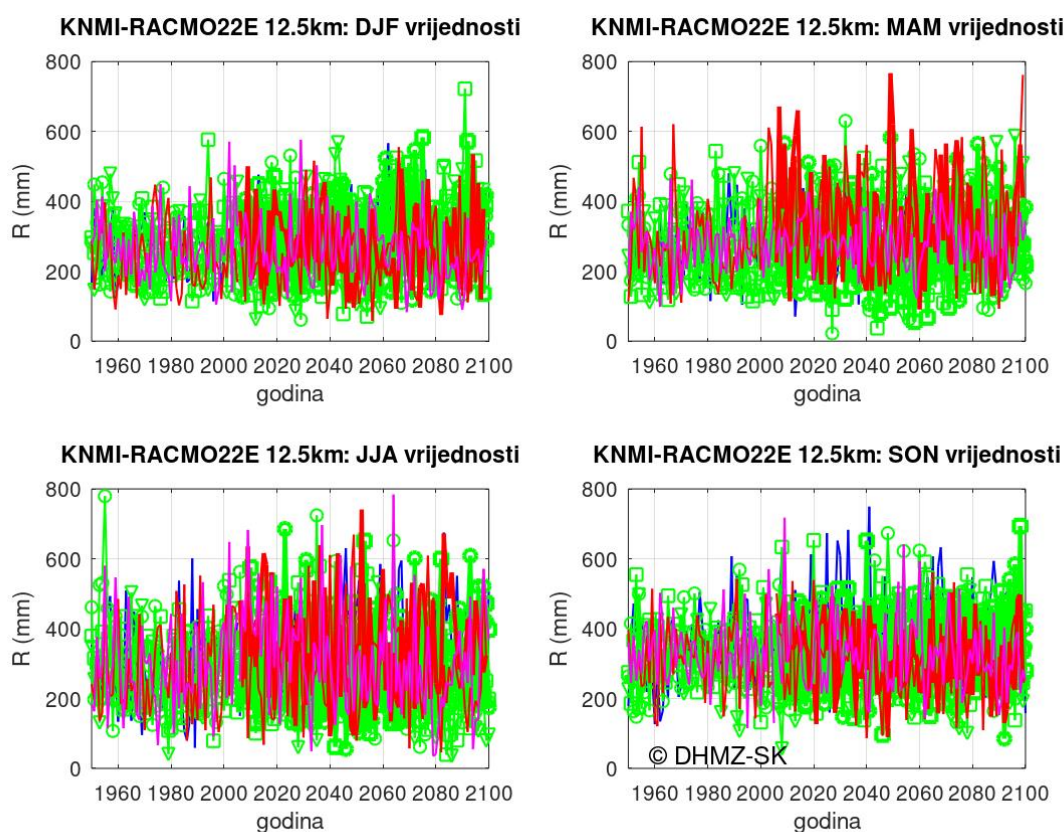


Slika 4.2.6. Vremenski niz srednje sezonske T2m. Model DHMZ-RegCM4, povijesne, RCP4.5 i RCP8.5 simulacije. Rubni uvjeti: plava linija CNRM-CM5, zelena linija EC-EARTH, crvena linija: HadGEM2-ES, ljubičasta linija: MPI-ESM-MR; deblje linije: RCP4.5; tanje linije: RCP8.5.

Tablica 4.2.2. Raspon srednjih sezonskih temperatura zraka T2m iz dostupnih DHMZ-RegCM4 simulacija u razdobljima 1971. – 2000. (P0) i 2041. – 2070 (P2). Mjerna jedinica: °C.

	1971. – 2000.		2041. – 2070. RCP4.5		2041. – 2070. RCP8.5	
	min	max	min	max	min	max
Zima / DJF	3.5	3.9	4.6	6.3	5.6	6.1
Proljeće / MAM	9.9	10.7	11.2	13.1	11.8	13.7
Ljeto / JJA	19.3	19.7	20.9	23.6	21.6	24.3
Jesen / SON	11.4	11.8	12.9	14.5	13.4	15.0

Sezonske količine oborine u simuliranom razdoblju 1951. – 2100. prema rezultatima modela KNMI-RACMO22E ukazuju na relativno stabilne iznose (Slika 4.2.7). Tablica 4.2.3 sažima raspon srednjih sezonskih količina oborine *R* iz KNMI-RACMO22E simulacija u razdobljima P0 i P2. Uočava se nepostojanje prevladavajućeg smjera promjena za analizirane veličine.

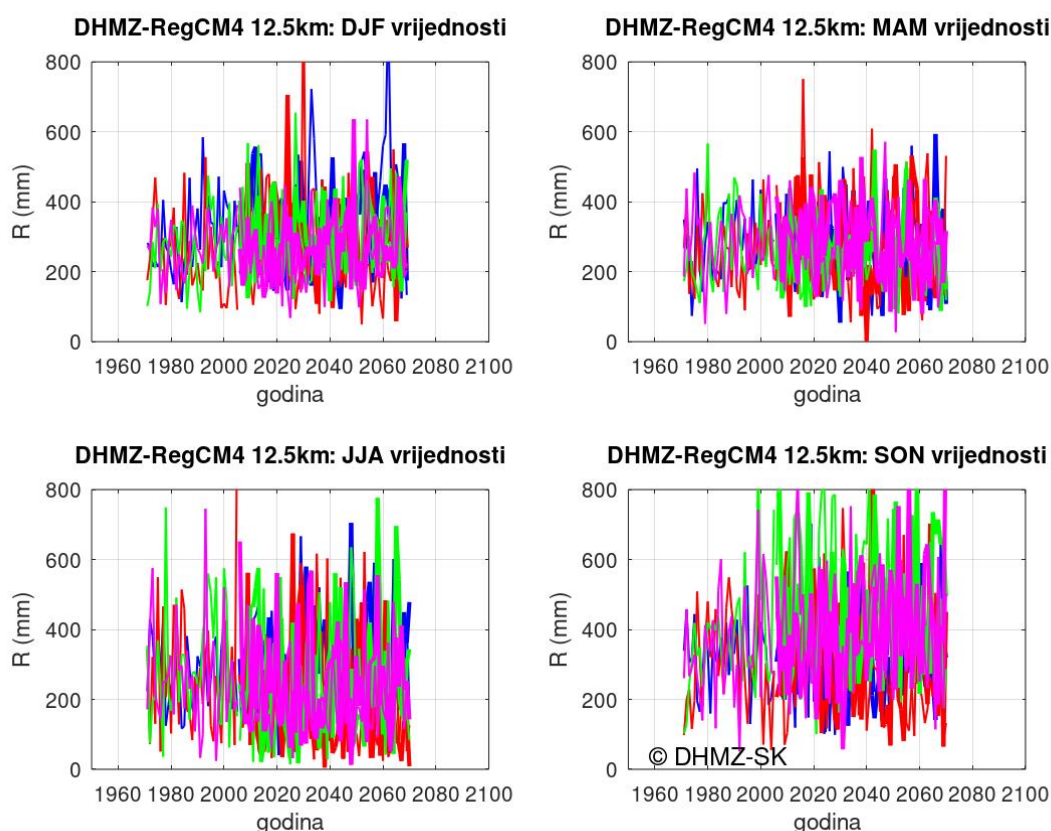


Slika 4.2.7. Vremenski niz sezonske količine oborine *R*. Model KNMI-RACMO22E, povijesne, RCP4.5 i RCP8.5 simulacije. Rubni uvjeti: plava linija CNRM-CM5, zelene linije EC-EARTH, crvena linija: HadGEM2-ES, ljubičasta linija: NorESM1-M; deblje linije: RCP4.5; tanje linije: RCP8.5.

Tablica 4.2.3. Raspon srednjih sezonskih količina oborine R iz dostupnih KNMI-RACMO22E simulacija u razdobljima 1971. – 2000. (P0) i 2041. – 2070 (P2). Mjerna jedinica: mm.

	1971. – 2000.		2041. – 2070. RCP4.5		2041. – 2070. RCP8.5	
	min	max	min	max	min	max
Zima / DJF	251.2	279.0	235.8	307.4	263.0	316.5
Proljeće / MAM	235.4	290.3	225.9	344.1	265.2	327.7
Ljeto / JJA	251.8	286.5	256.6	308.9	269.2	390.5
Jesen / SON	299.0	359.0	285.7	337.0	281.2	433.0

Slično kao KNMI-RACMO22E, sezonske količine oborine iz simulacija DHMZ-RegCM4, ukazuju na relativno stabilne iznose, uz malu do umjerenu tendenciju ljetnih količina prema nižim iznosima (Slika 4.2.8). Tablica 3.2.4 sažima raspon srednjih sezonskih količina oborine R iz DHMZ-RegCM4 simulacija u razdobljima P0 i P2.



Slika 4.2.8. Vremenski niz sezonske količine oborine R . Model DHMZ-RegCM4, povijesne, RCP4.5 i RCP8.5 simulacije. Rubni uvjeti: plava linija CNRM-CM5, zelena linija EC-EARTH, crvena linija: HadGEM2-ES, ljubičasta linija: MPI-ESM-MR; deblje linije: RCP4.5; tanje linije: RCP8.5.

Tablica 4.2.4. Raspon srednjih sezonskih količina oborine R iz dostupnih DHMZ-RegCM4 simulacija u razdobljima 1971. – 2000. (P0) i 2041. – 2070 (P2). Mjerna jedinica: mm.

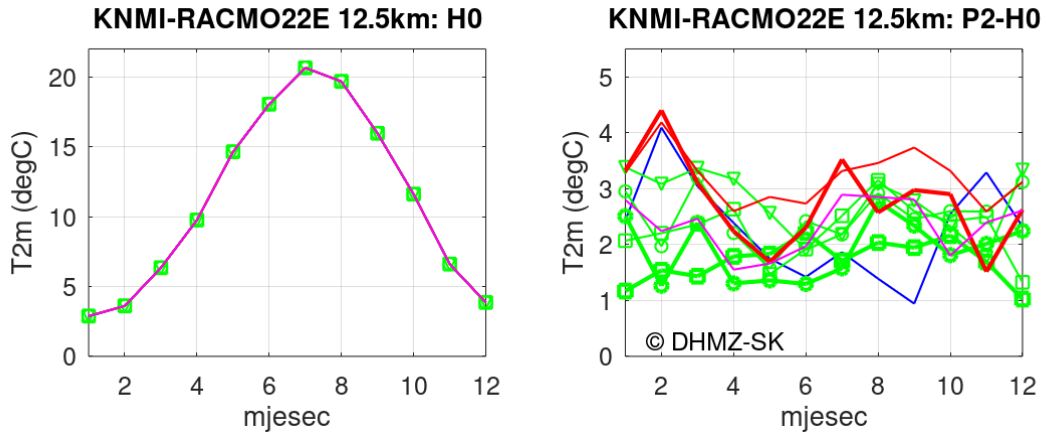
	1971. – 2000.		2041. – 2070. RCP4.5		2041. – 2070. RCP8.5	
	min	max	min	max	min	max
Zima / DJF	246.1	297.1	279.1	324.0	240.8	391.7
Proljeće / MAM	250.4	281.5	250.8	271.7	245.9	302.4
Ljeto / JJA	255.1	308.9	169.8	325.3	200.8	295.8
Jesen / SON	314.2	359.2	333.4	477.6	245.9	442.2

4.2.2.3. Srednji godišnji hodovi temperature zraka i količine oborine

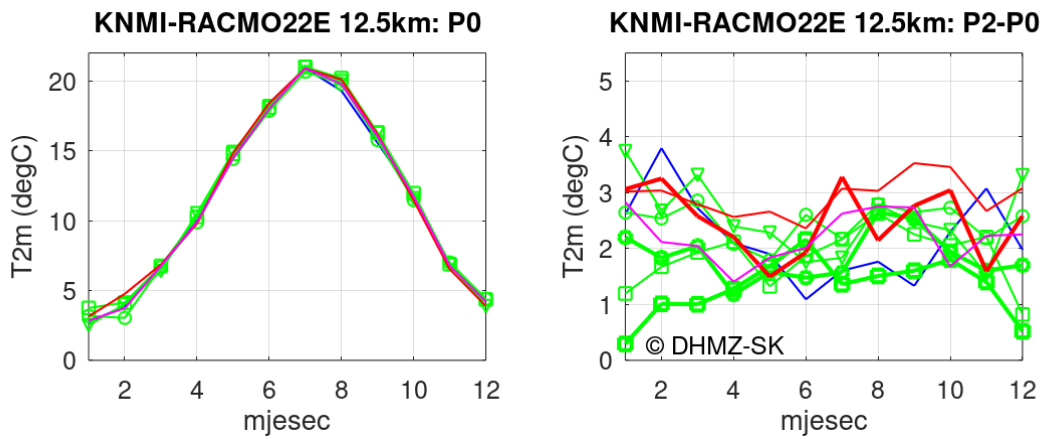
Slike 4.2.9, 4.2.10 i 4.2.11 daju pregled srednjeg godišnjeg hoda temperature zraka na 2 m T_{2m} u razdoblju H0 (1961. – 1990.; slika 3.3.1) te P0 (1971. – 2000.; slike 4.2.10 i 4.2.11) u modelima KNMI-RACMO22E (dostupna oba povijesna razdoblja) i DHMZ-RegCM4 (dostupno samo razdoblje P0). Također su prikazane promjene u pojedinačnim projekcijama između razdoblja P2 (2041. – 2070.) u odnosu na navedeno povijesno razdoblje. Neovisno o RCM modelu, GCM rubnim uvjetima, korištenom scenariju (RCP4.5 i RCP8.5), analiziranom mjesecu u godini i definiciji povijesnog razdoblja, projekcije upućuju na porast temperature zraka.

Za model KNMI-RACMO22E (Slika 4.2.10) prilikom usporedbe razdoblja P2 i P0 za scenarij RCP4.5, najmanji porast od 0.3 °C nalazimo za siječanj, dok za scenarij RCP8.5 najmanji porast od 0.8 °C nalazimo za prosinac. Istovremeno, maksimalni porast za KNMI-RACMO22E pod scenarijem RCP4.5 u iznosu od 3.3 °C dobivamo za srpanj, dok za scenarij RCP8.5 maksimalni porast u iznosu od 3.8 °C dobivamo za siječanj. Za povijesno razdoblje H0, svih šest simulacija se preklapaju jer je statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka definirano prema istom razdoblju.

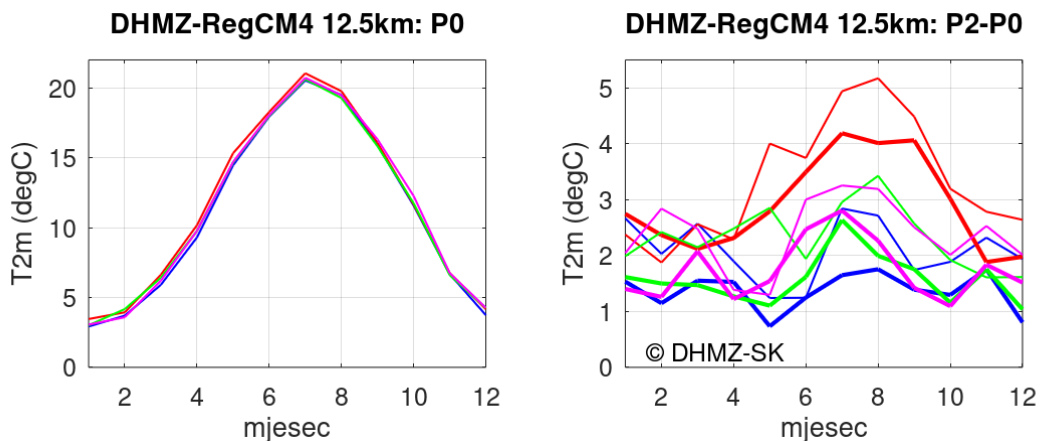
Za model DHMZ-RegCM4 (Slika 4.2.11) prilikom usporedbe razdoblja P2 i P0 za scenarij RCP4.5, najmanji porast od 0.7 °C nalazimo za svibanj, dok za scenarij RCP8.5 najmanji porast od 1.2 °C nalazimo također za svibanj. Istovremeno, maksimalni porast za DHMZ-RegCM4 pod scenarijem RCP4.5 u iznosu od 4.2 °C dobivamo za srpanj, dok za scenarij RCP8.5 maksimalni porast u iznosu od 5.2 °C dobivamo također za srpanj.



Slika 4.2.9. Srednji godišnji hod T2m. Model KNMI-RACMO22E. H0: 1961. – 1990.; P2: 2041. – 2070. Rubni uvjeti: plava linija CNRM-CM5, zelene linije EC-EARTH, crvena linija: HadGEM2-ES, ljubičasta linija: NorESM1-M; deblje linije: RCP4.5; tanje linije: RCP8.5.



Slika 4.2.10. Srednji godišnji hod T2m. Model KNMI-RACMO22E. P0: 1971. – 2000.; P2: 2041. – 2070. Rubni uvjeti: plava linija CNRM-CM5, zelene linije EC-EARTH, crvena linija: HadGEM2-ES, ljubičasta linija: NorESM1-M; deblje linije: RCP4.5; tanje linije: RCP8.5.

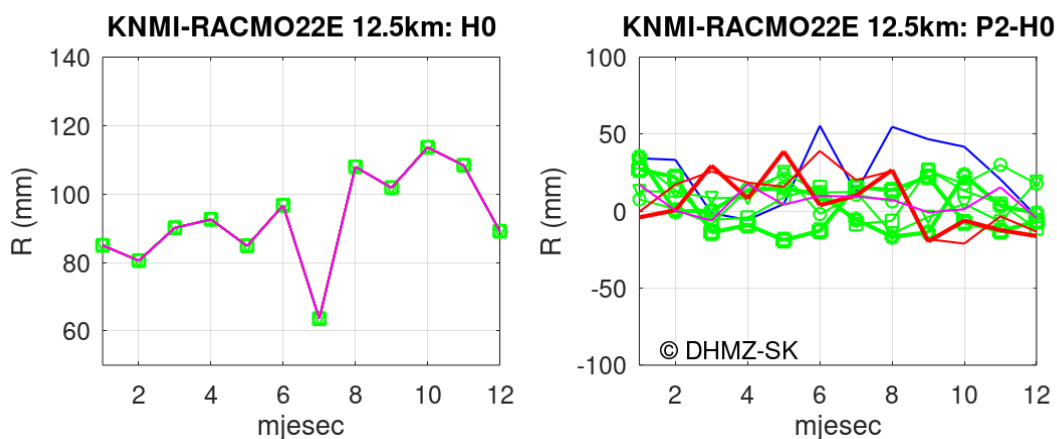


Slika 4.2.11. Srednji godišnji hod T2m. Model DHMZ-RegCM4. P0: 1971. – 2000.; P2: 2041. – 2070. Rubni uvjeti: plava linija CNRM-CM5, zelena linija EC-EARTH, crvena linija: HadGEM2-ES, ljubičasta linija: MPI-ESM-MR; deblje linije: RCP4.5; tanje linije: RCP8.5.

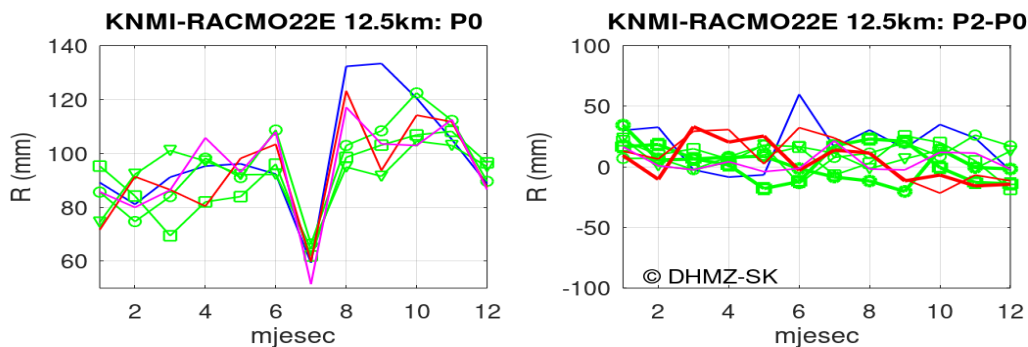
Slike 4.2.12, 4.2.13 i 4.2.14 daju pregled srednjeg godišnjeg hoda količine oborine R u razdoblju H0 (1961. – 1990.; slika 3.3.4) te P0 (1971. – 2000.; slike 4.2.13 i 4.2.14) u modelima KNMI-RACMO22E i DHMZ-RegCM4 (samo P0). Također, u sva tri prikaza, prikazana je promjena pojedinačnih projekcija između razdoblja P2 (2041. – 2070.) u odnosu na navedeno povijesno razdoblje. Za razliku od $T2m$, promjene u R mogu biti oba smjera. U nastavku navodimo minimalne i maksimalne promjene u apsolutnim iznosima.

Za model KNMI-RACMO22E (Slika 4.2.13) prilikom usporedbe razdoblja P2 i P0 za scenarij RCP4.5, najveće smanjenje količine oborine od -20.3 mm nalazimo za rujan, dok za scenarij RCP8.5 najveće smanjenje količine oborine od -21.6 mm nalazimo za listopad. Istovremeno, najveći porast količine oborine za KNMI-RACMO22E pod scenarijem RCP4.5 u iznosu od 34.5 mm dobivamo za siječanj, dok za scenarij RCP8.5 najveći porast u iznosu od 59.8 mm dobivamo za lipanj. Za model KNMI-RACMO22E prisutan je širok raspon promjena po iznosu i predznaku ovisno o mjesecu te u ovisnosti o rubnim uvjetima.

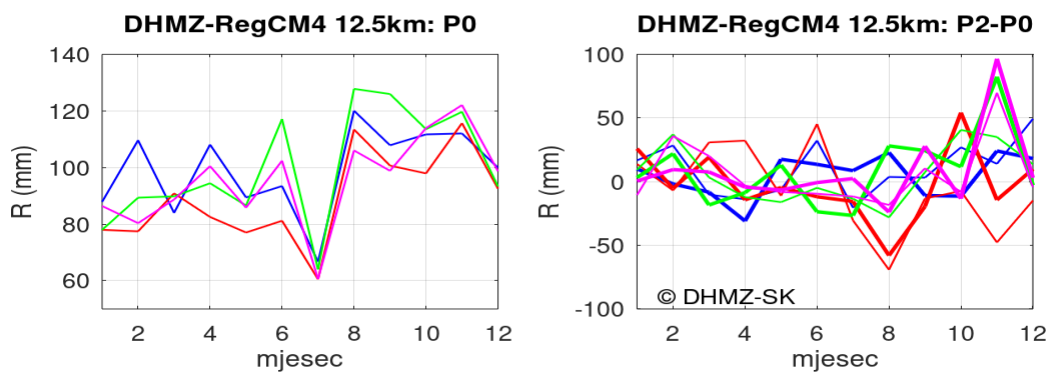
Za model DHMZ-RegCM4 (Slika 4.2.14) prilikom usporedbe razdoblja P2 i P0 za scenarij RCP4.5, najveće smanjenje količine oborine od -58.0 mm nalazimo za kolovoz, dok za scenarij RCP8.5 najveće smanjenje količine oborine od -68.2 mm nalazimo također za kolovoz. Istovremeno, najveći porast količine oborine za DHMZ-RegCM4 pod scenarijem RCP4.5 u iznosu od 96.5 mm dobivamo za studeni, dok za scenarij RCP8.5 najveći porast u iznosu od 69.7 mm dobivamo također za studeni. Za model DHMZ-RegCM4 je također prisutan širok raspon promjena po iznosu i predznaku ovisno o mjesecu te u ovisnosti o rubnim uvjetima.



Slika 4.2.12. Srednji godišnji hod R . Model KNMI-RACMO22E. H0: 1961. – 1990.; P2: 2041. – 2070. Rubni uvjeti: plava linija CNRM-CM5, zelene linije EC-EARTH, crvena linija: HadGEM2-ES, ljubičasta linija: NorESM1-M; deblje linije: RCP4.5; tanje linije: RCP8.5.



Slika 4.2.13. Srednji godišnji hod R. Model KNMI-RACMO22E. P0: 1971. – 2000.; P2: 2041. – 2070. Rubni uvjeti: plava linija CNRM-CM5, zelene linije EC-EARTH, crvena linija: HadGEM2-ES, ljubičasta linija: NorESM1-M; deblje linije: RCP4.5; tanje linije: RCP8.5.



Slika 4.2.14. Srednji godišnji hod R. Model DHMZ-RegCM4. P0: 1971. – 2000.; P2: 2041. – 2070. Rubni uvjeti: plava linija CNRM-CM5, zelena linija EC-EARTH, crvena linija: HadGEM2-ES, ljubičasta linija: MPI-ESM-MR; deblje linije: RCP4.5; tanje linije: RCP8.5.

4.2.2.4. Linearni trendovi srednje godišnje temperature zraka i godišnje količine oborine

Linearni trendovi prema ukupno deset KNMI-RACMO22E i DHMZ-RegCM4 simulacija za vremensko razdoblje od 1971. do 2070. (do 2005. uz pretpostavku izmjerenih koncentracija stakleničkih plinova, od 2006. uz pretpostavku scenarija RCP8.5) ukazuju na statistički značajno zagrijavanja na srednjoj godišnjoj razini od $0.28\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ godina}$ do $0.43\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ godina}$ (Tablica 4.2.5). Prema istim simulacijama očekuje se porast godišnjih količina oborine (od $3.0\text{ mm} / 10\text{ godina}$ do $33.0\text{ mm} / 10\text{ godina}$) no s bitno manjom pouzdanošću u odnosu na temperaturu zraka. Iako je pozitivan trend simuliran u devet od ukupno deset analiziranih simulacija (samo DHMZ-RegCM4_MOHC-HadGEM2-ES simulira negativan trend od $-7.3\text{ mm} / 10\text{ godina}$), statistička značajnost je potvrđena samo u tri slučaja.

Positivne i statistički značajne linearne trendove srednjih sezonskih temperatura zraka $T2m$ nalazimo u svim sezonama prema svih deset analiziranih simulacija (Tablica 4.2.6). Po sezonama, raspon trendova jest tijekom zime od $0.19\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ godina}$ do $0.46\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ godina}$, tijekom proljeća $0.26\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ godina}$ do $0.44\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ godina}$, tijekom ljeta od $0.22\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ godina}$ do $0.66\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ godina}$ te tijekom jeseni od $0.28\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ godina}$ do $0.50\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ godina}$. Linearni trendovi sezonskih

količina oborina su statistički značajni u samo sedam od četrdeset situacija, te iako generalno upućuju na povećanje količina oborina, ne možemo govoriti o statistički jasnom signalu.

Tablica 4.2.5. Linearni trendovi srednjih godišnjih temperatura zraka na 2m (T2m) i godišnjih količina oborine (R). Podebljano su naznačeni statistički značajni trendovi (Mann-Kendall test, nivo značajnosti 0.05). Vremensko razdoblje: 1971. – 2070.; za buduće razdoblje korišten je scenarij RCP8.5.

Model	trend T2m (°C/10 godina)	trend R (mm/10 godina)
1: KNMI-RACMO22E_CNRM-CM5	0.31	33.0
2: KNMI-RACMO22E_ECEARTH_r12i1p1	0.33	17.9
3: KNMI-RACMO22E_ECEARTH_r1i1p1	0.28	11.5
4: KNMI-RACMO22E_ECEARTH_r3i1p1	0.36	13.5
5: KNMI-RACMO22E_MOHC-HadGEM2-ES	0.43	12.5
6: KNMI-RACMO22E_NCC-NorESM1-M	0.32	5.5
7: DHMZ-RegCM4_CNRM-CM5	0.30	23.4
8: DHMZ-RegCM4_MOHC-HadGEM2-ES	0.49	-7.3
9: DHMZ-RegCM4_ECEARTH_r1i1p1	0.33	12.4
10: DHMZ-RegCM4_MPI-ESM-MR	0.34	3.0

Tablica 4.2.6. Linearni trendovi srednjih sezonskih temperatura zraka na 2m (T2m) i godišnjih količina oborine (R). Podebljano su naznačeni statistički značajni trendovi (Mann-Kendall test, nivo značajnosti 0.05). Vremensko razdoblje: 1971. – 2070.; za buduće razdoblje korišten je scenarij RCP8.5. Puni naziv modela dostupan za specifičnu liniju dostupan u Tablici 4.2.5.

Model	trend T2m (°C/10 godina)				trend R (mm/10 godina)			
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
1	0.39	0.33	0.22	0.33	8.0	-1.4	16.2	10.8
2	0.35	0.29	0.35	0.35	3.0	4.9	1.5	7.9
3	0.19	0.26	0.33	0.32	3.5	2.5	1.4	4.6
4	0.46	0.40	0.31	0.29	4.3	4.2	1.5	3.2
5	0.44	0.38	0.41	0.47	1.7	9.8	7.9	-6.4
6	0.37	0.26	0.37	0.30	0.1	1.1	1.4	2.1
7	0.32	0.26	0.35	0.28	15.3	-2.1	1.5	8.1
8	0.35	0.44	0.66	0.50	1.0	6.0	-8.8	-5.7
9	0.31	0.33	0.38	0.28	8.3	-2.7	-5.3	11.8
10	0.32	0.26	0.45	0.34	2.2	-0.7	-5.4	6.9

4.3. Hidrološke projekcije utjecaja klimatskih promjena na vodnu bilancu sliva Pazinčice i izvora Rakonek i režima otjecanja

Na temelju provedenih globalnih bilančnih analiza temperatura zraka i palih oborina na slivu Pazinčice i šireg utjecajnog područja prihranjivanja izvora na području desne obale rijeke Raše koji se prihranjuju iz središnjeg istarskog vodonosnika kojega Pazinčica prihranjuje, provedenih u točki 3.4, kao i mjerenih klimatoloških i hidroloških podataka na tom području, provedene su analize mogućih promjena hidroloških prilika u budućnosti. Pri tome je kao referentni povijesni 30-godišnji niz korišten niz 1961.-1990. (za koga su na raspolaganju stajali podaci prostorne raspodjele srednjih godišnjih oborina i temperatura zraka, kao i osmotreni podaci o oborinama i temperaturama zraka na postaji Pazin te protocima na postaju Dubravica-Pazinčica), a nizovi srednjih godišnjih oborina i temperatura generirani su za razdoblje 1971.-2070. (točka 4.2).

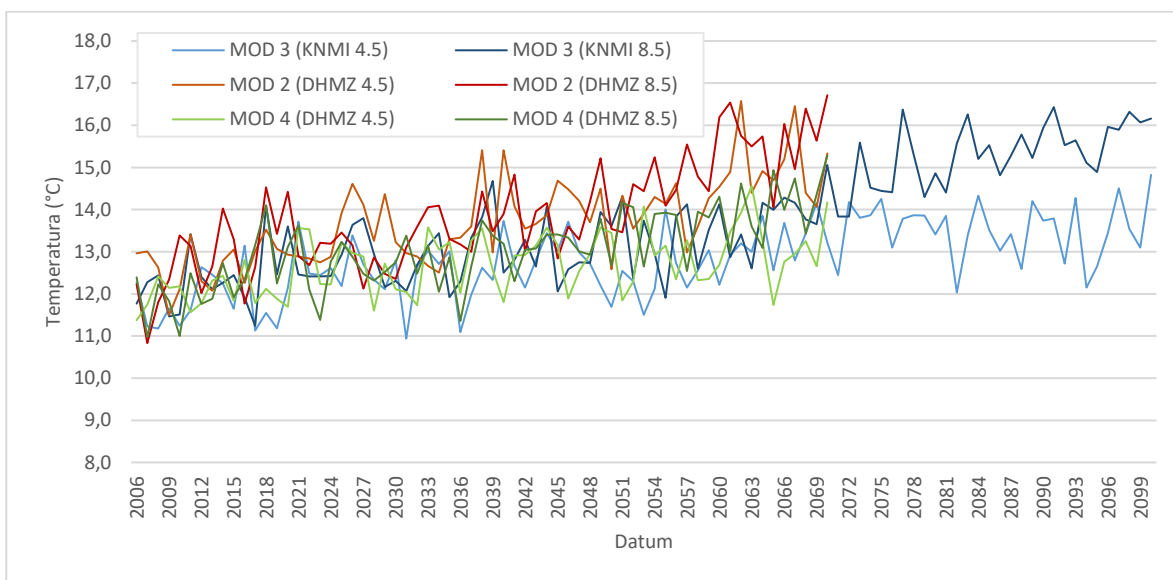
Kao mjerodavna raspodjela specifičnih godišnjih protoka usvojena je Langbeinova koja je za spomenuto 30-godišnje razdoblje rezultirala srednjim godišnjim protokom na profili Dubravica – Pazinčica od $1,007 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a što je izuzetno blisko na temelju hidroloških podataka proračunatom protoku Pazinčice na tom profilu od $0,960 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Razlika iznosi svega 4,9%, a što je unutar točnosti mjerenja podataka o protocima. Kako bi se podaci bilanciranja po Langbeinu izjednačili s mjerenim podacima, pri procjenama vodne bilance po toj metodi dodatno je korišten redukcijski faktor 0,914. Sama metodologija generiranja sintetičkih nizova o protocima temeljenim na povijesnim, kao i generiranim nizovima podataka o oborinama i temperaturama opisana je u radu Rubinića i Katalinić (2014).

S obzirom na velik broj, u okviru točke 4.2, generiranih varijanti mogućih klimatskih promjena, odnosno korištenih modela za generiranje oborina i temperatura zraka po dva tipizirana klimatska scenarija (4.5 i 8.5), za potrebe procjene njihovog kumulativnog utjecaja na hidrološku bilancu srednjih godišnjih protoka izdvojeni su rezultati triju modela koji su, prema nagibima trendova porasta temperature zraka za razdoblje 1971. - 2070. (Tablica 4.2.5) bili karakteristični. Radi se o slijedećim odabranim modelima, odnosno njihovim rezultatima procjene hoda godišnjih oborina i temperatura, koji bi se uvjetno moglo klasificirati u rasponu između pesimističkog i optimističnog scenarija, te nekog srednjeg.

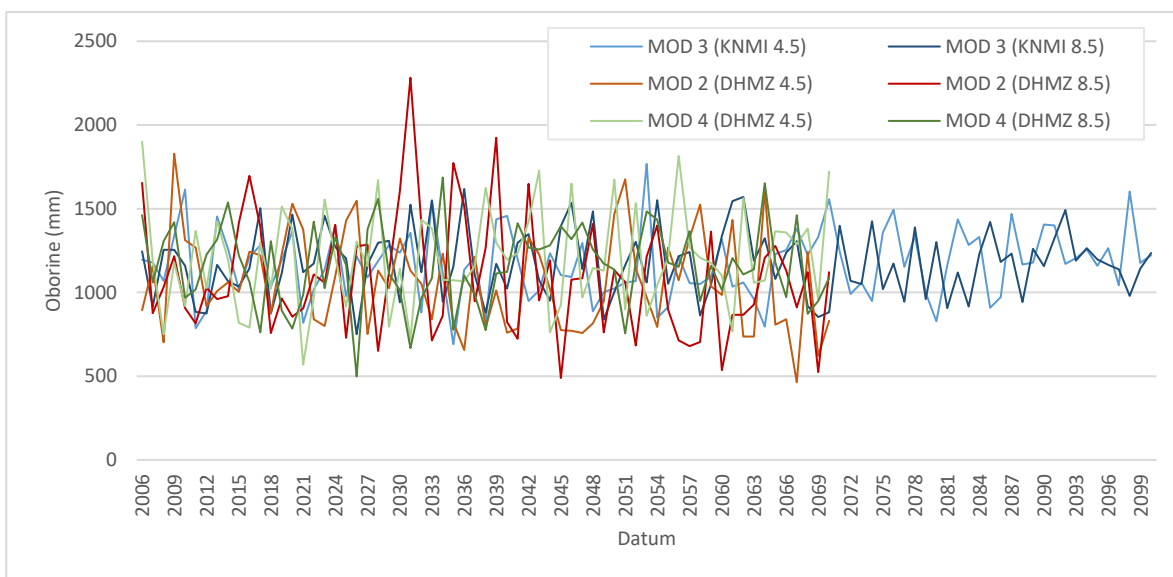
Rezultati modela MOD2-DHMZ pokazuju najveći trend porasta temperatura zraka od $0,49^\circ\text{C}/10$ godina, a to je ujedno i jedini model koji pokazuje trend opadanja godišnjih količina oborina od $7,3 \text{ mm}/10$ godina. Najmanji trend porasta temperature zraka od $0,28^\circ\text{C}/10$ godina pokazuju rezultati modela MOD3-KNMI, kod kojega je prisutan i trend porasta godišnjih količina oborina od $11,5^\circ\text{C}/10$ godina. Najbliži prosječnoj vrijednosti trenda porasta temperature zraka za razdoblje 1971.-2070. po scenariju RCP 8.5, a koja iznosi $0,35^\circ\text{C}/10$, imaju rezultati dobiveni modeliranjem hoda srednjih godišnjih temperatura zraka po modelu MOD4-DHMZ kod koga je taj trend $0,34^\circ\text{C}/10$, uz blagi trend porasta oborina od $3,0 \text{ mm}/10$ godina.

Rezultati hoda srednjih godišnjih temperatura zraka i godišnjih količina oborina prema spomenutim modelima za razdoblje 2006.-2070. za DHMZ-ove modele 2 i 4, te za razdoblje 2006.-2100. za KNMI model 3, dani su na slikama 4.3.1 i 4.3.2. Vidljivo je da modeli DHMZ-a imaju projekcije rezultata modeliranja do zaključno 2070.g., kako je to sadržano i u obradama za potrebe izrade

Strategije prilagodbe RH klimatskim promjenama.. (NN 46/2020), dok rezultati modela KNMI obuhvaćaju razdoblje do 2100.g.



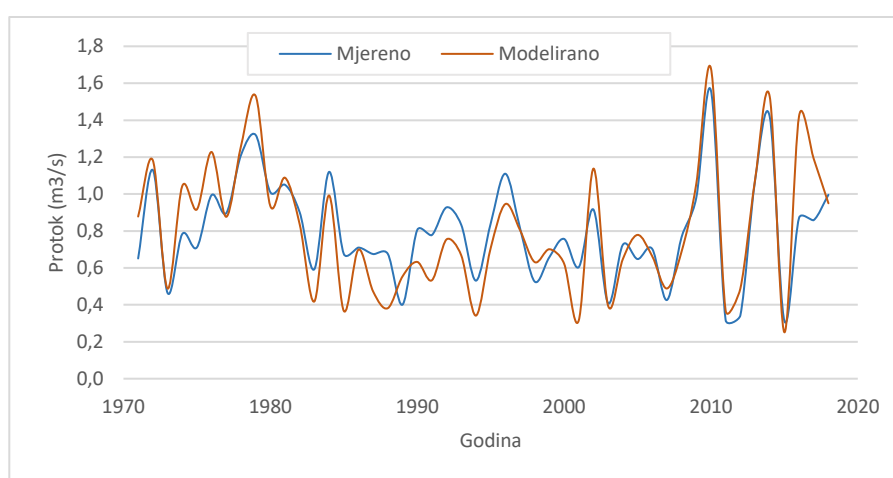
Slika 4.3.1. Generirane vrijednosti nizova srednjih godišnjih temperatura zraka (2006. - 2100.) prema različitim modelima i klimatskim scenarijima



Slika 4.3.2. Generirane vrijednosti nizova godišnjih količina oborina (2006. - 2100.) prema različitim modelima i klimatskim scenarijima

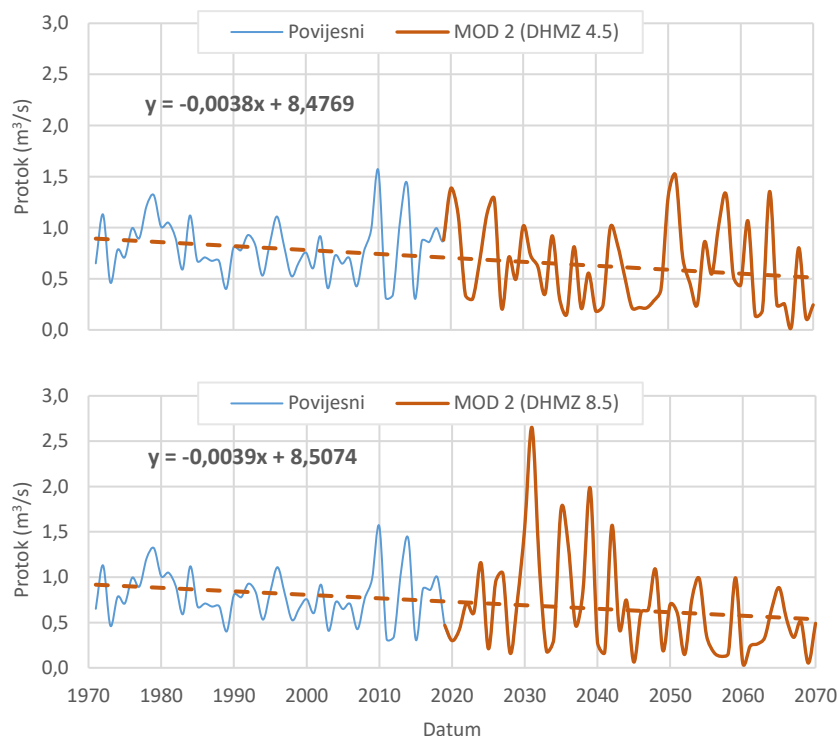
4.3.1. Hidrološke projekcije vodne bilance za sliv Pazinčice

Na osnovu prethodno opisanih nizova procijenjenih godišnjih vrijednosti temperatura zraka i oborina prema različitim modelima (Slike 4.3.1 i 4.3.2), uz korištenje metodologije dane u radu Rubinića i Katalinić (2014), provedene su procjene rezultirajućih srednjih godišnjih protoka za sliv Pazinčice na profilu hidrološke postaje Dubravica. Usporedni prikaz rezultata zabilježenih srednjih godišnjih protoka na profilu hidrološke postaje Dubravica i korištenim modelom generiranih protoka za razdoblje 1971.-2018. dan je na slici 4.3.3. Iz nje je vidljivo dobro podudaranje izmjerenih i modeliranih hidroloških podataka, pri čemu je utvrđen koef. korelacije između njih 0,87. Odstupanja koja se javljaju pojedinih godina prije svega se mogu pripisati utjecajima palih oborina tijekom završetka protekle godine na protoke koji se javljaju u dotičnoj godini.

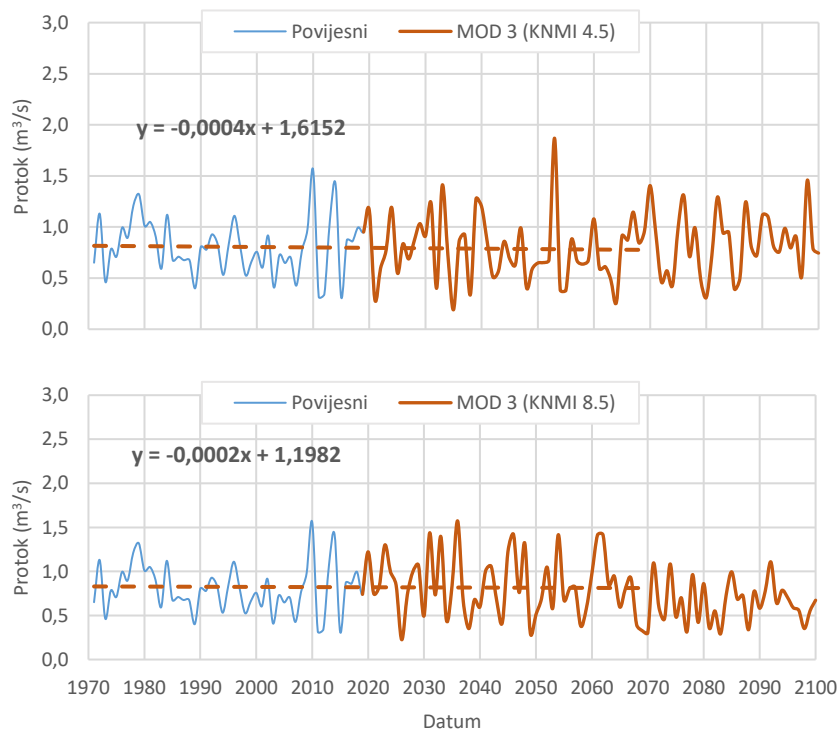


Slika 4.3.3. Usporedni prikaz srednjih godišnjih protoka Pazinčice (1971.-2018.) prema mjerenim i modelom generiranim podacima srednjih godišnjih protoka

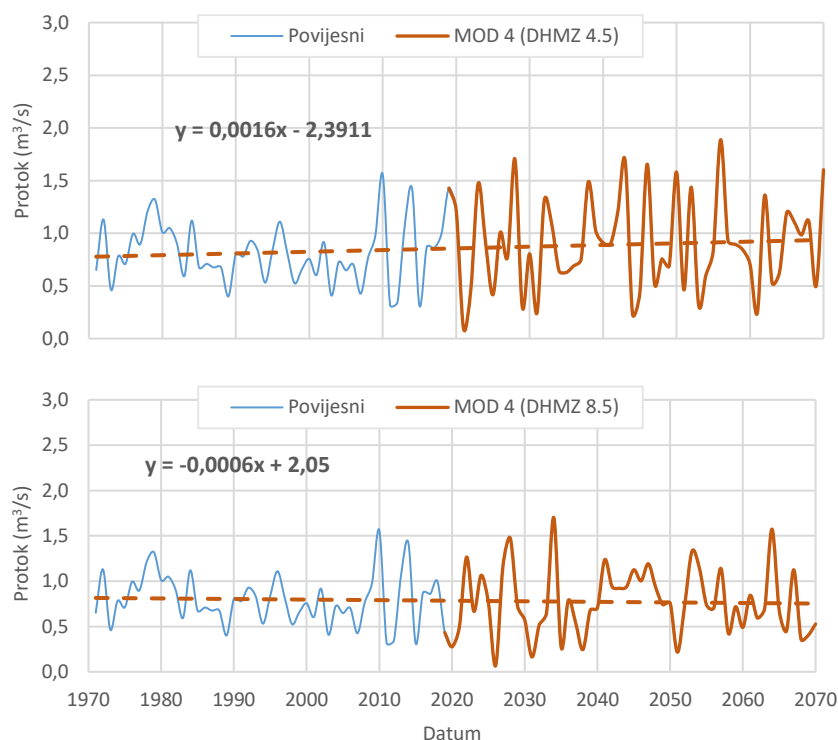
Na temelju tako sačinjenog modela provedene su daljnje obrade očekivanih hidroloških prilika u budućnosti na temelju različitih modela i klimatskih scenarija. Njihovi rezultati – prikazi hodova njihovih karakterističnih godišnjih vrijednosti, sadržani su na slikama 4.3.4 – 4.3.6. Na spomenutim dijagramima su za povijesni niz zaključno s 2018.g. prikazani zabilježeni podaci o srednjim godišnjim protocima na postaji Dubravica.



Slika 4.3.4. Prikaz povijesnih i modeliranih vrijednosti srednjih godišnjih protoka Pazinčice za postaju Dubravica (1971-2070) prema modelu MOD2-DHMZ za klimatski scenarij RCP 4.5 (gore) i RCP 8.5 (dolje) - pesimistični scenarij danih projekcija



Slika 4.3.5. Prikaz povijesnih i modeliranih vrijednosti srednjih godišnjih protoka Pazinčice za postaju Dubravica (1971-2070) prema modelu MOD3 – KNMI za klimatski scenarij RCP 4.5 (gore) i RCP 8.5 (dolje) - optimistični scenarij danih projekcija



Slika 4.3.6. Prikaz povijesnih i modeliranih vrijednosti srednjih godišnjih protoka Pazinčice za postaju Dubravica (1971-2070) prema modelu MOD4-DHMZ za klimatski scenarij RCP 4.5 (gore) i RCP 8.5 (dolje) - umjereni/prosječni scenarij danih projekcija

Usporedba sumarnih rezultata provedenih modeliranja prema različitim modelima i klimatskim scenarijima dana je u tablici 4.3.1 gdje su iskazani karakteristični protoci s njihovim numeričkim vrijednostima, kao i u tablici 4.3.2 gdje su isti iskazani u postocima u odnosu na karakteristične vrijednosti srednjeg godišnjeg protoka kao i ekstrema, zabilježenih u razdoblju 1971.-2000.

Tablica 4.3.1. Usporedba karakterističnih vrijednosti nizova srednjih godišnjih protoka vezanih za odabrana 30-godišnja razdoblja

Razdoblje	SR (m ³ /s)		Max (m ³ /s)		Min (m ³ /s)	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Izmjereni podaci						
1971.-2000.	0,818		1,32		0,401	
MOD2 - DHMZ						
2011.-2040.	0,688	0,849	1,42	2,65	0,155	0,162
2041-2070.	0,578	0,496	1,52	1,57	0,030	0,051
MOD3 – KNMI						
2011.-2040.	0,820	0,837	1,42	1,57	0,191	0,225
2041-2070.	0,758	0,821	1,87	1,42	0,262	0,300
2071.-2100.	0,826	0,658	1,46	1,11	0,310	0,291
MOD4 - DHMZ						
2011.-2040.	0,853	0,714	1,70	1,70	0,095	0,067
2041-2070.	0,929	0,823	1,89	1,57	0,237	0,216

Tablica 4.3.2. Usporedba karakteristični vrijednosti nizova srednjih godišnjih protoka vezanih za odabrana 30-godišnja razdoblja

Razdoblje	SR (m ³ /s)		Max (m ³ /s)		Min (m ³ /s)	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
MOD2 - DHMZ						
2011.-2040.	-16%	4%	8%	101%	-61%	-60%
2041-2070.	-29%	-39%	15%	19%	-93%	-87%
MOD3 – KNMI						
2011.-2040.	0%	2%	8%	19%	-52%	-44%
2041-2070.	-7%	0%	42%	7%	-35%	-25%
2071.-2100.	1%	-20%	10%	-16%	-23%	-27%
MOD4 - DHMZ						
2011.-2040.	4%	-13%	29%	29%	-76%	-83%
2041-2070.	13%	1%	43%	19%	-41%	-46%

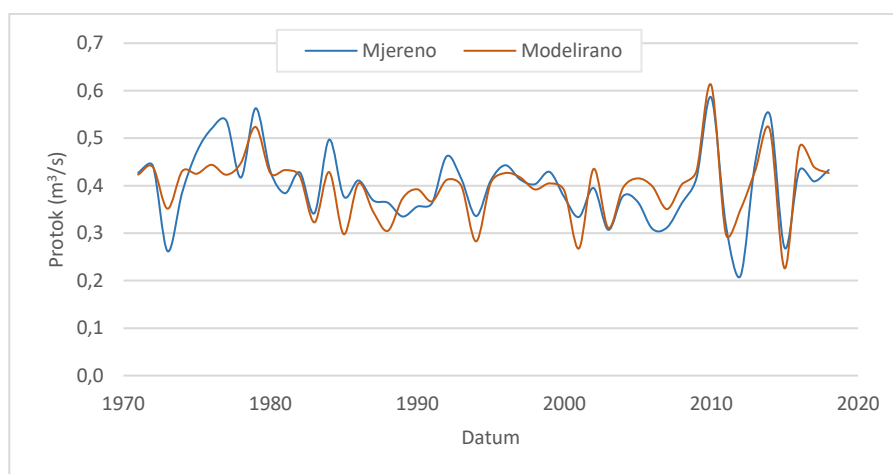
Iz danih je rezultata, kako grafičkih tako i tabličnih, vidljivo da se u budućnosti očekuje nastavak negativnih hidroloških prilika koje će se, ovisno o pojedinim scenarijima i modelima, manifestirati uglavnom u nastavku trenda smanjenja srednjih godišnjih protoka, kao i sve naglašenijim pojavama sušnih hidroloških prilika. U odnosu na referentno 30-godišnje povijesno razdoblje (1971.-2000.), zbog očekivanog nastavka povećanja temperatura zraka, te promjenjivog trenda hoda godišnjih količina oborina, neki od modela daju za razdoblje 2011.-2040. očekivano smanjenje srednjih godišnjih količina protoka Pazinčice na repnom profilu hidrološke postaje Dubravica do oko 16%, dok neki prognoziraju čak i blagi porast do 4%.

Očekivane negativne promjene srednjih godišnjih protoka su za daljnje 30-godišnje razdoblje (2041.-2070.) još drastičnije jer se, ovisno o modelu i scenariju, očekuje njihovo smanjenje i do 39%, ali u jednom od scenarija i povećanje od 13%. Rezultati modela MOD3-KNMI koji za razliku od DHMZ-ovih modela ima mogućnost prognoziranja i do kraja 21. stoljeća, pokazuju da bi se do kraja ovoga stoljeća, ako se ostvari pesimističan scenarij ublažavanja klimatskih promjena (RCP 8.5), srednji godišnji protoci mogli smanjiti za oko 20%, dok bi u slučaju ostvarenja scenarija RCP 4.5 one mogle zadržati na postojećim količinama (očekivani porast od svega oko 1%).

No, svi modeli pokazuju da se tijekom tih odabranih 30-godišnjih razdoblja mogu očekivati i puno naglašenije sušne prilike od zabilježenih u povijesti, i to u rasponu između 23% i čak 93% manje vrijednosti minimalnih godišnjih protoka za ekstremno sušnu godinu. Isto tako, većina modela daje moguće povećanje maksimalnih vrijednosti godišnjih protoka u rasponu do čak 101%, odnosno pojava dvostruko većih godišnjih protoka od do sada zabilježenih. To naravno može imati povoljan utjecaj na smanjivanje rizika od pojava suša u slivu Pazinčice i s njom povezanih izvorišta u dolini rijeke Raše, te povoljnijih uvjeta za korištenje voda, ali i na rizik od pojava dugotrajnijih naglašenijih vodnih prilika koje mogu izazvati dodatne probleme s evakuacijom velikih voda u Pazinskoj jami.

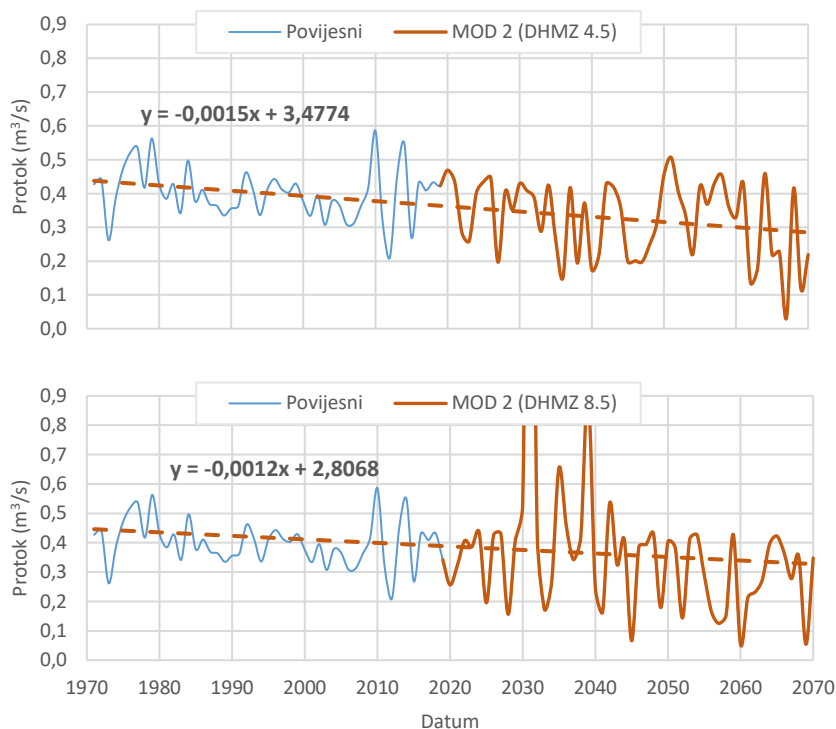
4.3.2. Hidrološke projekcije vodne bilance za izvor Rakonek

Slično kao i u slučaju sliva Pazinčice, provedene su i procjene utjecaja klimatskih promjena na izvorišne vode koje se dijelom prihranjuju vodama Pazinčice, pri čemu je kao reprezent uzet izvor Rakonek. Radi se o području koje se prihranjuju s puno većega prostora, ali i drenira prema nizu drugih izvorišta. Zato je kao potencijalno područje prihranjivanja razmatrano puno šire područje, ukupne površine od oko 327 km², ali s reduciranim utjecajem na sam izvor. Korištenjem povijesnih podataka o protocima izvora Rakonek, podataka o godišnjim količinama oborinama i temperaturama zraka s postaje Pazin zaključno s 2018. godinom, generiran je model koji je slično kao i u slučaju sliva Pazinčice dao relativno dobru povezanost mjerenih i generiranih podataka (koef. korelacije između njih od 0,80). Usporedni prikaz rezultata zabilježenih srednjih godišnjih protoka na izvoru Rakonek i korištenim modelom generiranih protoka za razdoblje 1971.-2018. dan je na Slici 4.3.7. I tu se, u još većoj mjeri zbog još naglašenijeg utjecaja krškog vodonosnika na akumuliranje voda i stanje vodnih prilika odstupanja koja se javljaju pojedinih godina mogu pripisati utjecajima palih oborina tijekom završetka protekle godine na protoke koji se javljaju u dotičnoj godini.

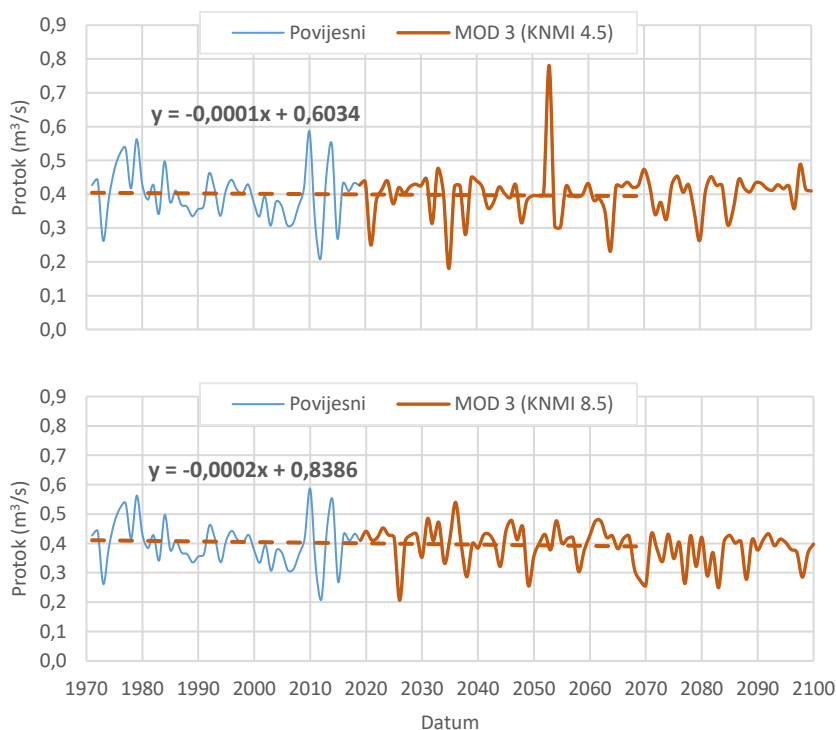


Slika 4.3.7. Usporedni prikaz srednjih godišnjih protoka na izvoru Rakonek (1971.-2018.) prema mjerenim i modelom generiranim podacima srednjih godišnjih protoka

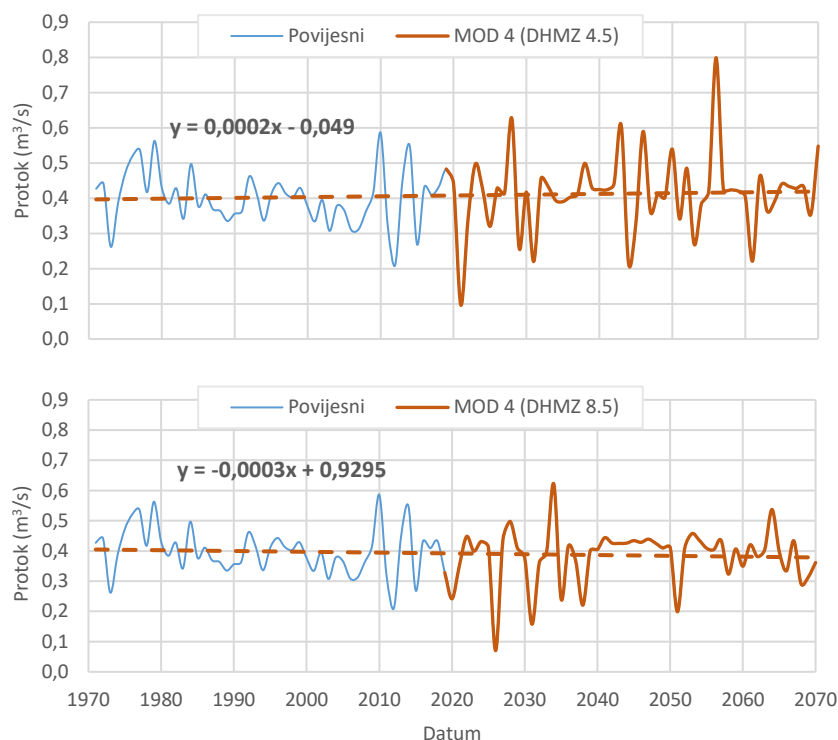
Na temelju tako sačinjenog modela provedene su daljnje obrade očekivanih hidroloških prilika u budućnosti na temelju različitih modela i klimatskih scenarija. Njihovi rezultati – prikazi hodova njihovih karakterističnih godišnjih vrijednosti, sadržani su na slikama 4.3.8 – 4.3.10. Na spomenutim dijagramima su za povijesni niz zaključno s 2018.g. prikazani zabilježeni podaci o srednjim godišnjim protocima na postaji Rakonek.



Slika 4.3.8. Prikaz povijesnih i modeliranih vrijednosti srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj postaji Rakonek (1971-2070) prema modelu MOD2-DHMZ za klimatski scenarij RCP 4.5 (gore) i RCP 8.5 (dolje) - pesimistični scenarij danih projekcija



Slika 4.3.9. Prikaz povijesnih i modeliranih vrijednosti srednjih godišnjih na hidrološkoj postaji Rakonek (1971-2100) prema modelu MOD3 – KNMI za klimatski scenarij RCP 4.5 (gore) i RCP 8.5 (dolje) - optimistični scenarij danih projekcija



Slika 4.3.10. Prikaz povijesnih i modeliranih vrijednosti srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj postaji Rakonek (1971-2070) prema modelu MOD4-DHMZ za klimatski scenarij RCP 4.5 (gore) i RCP 8.5 (dolje) - umjereni/prosječni scenarij danih projekcija

Usporedba sumarnih rezultata provedenih modeliranja srednjih godišnjih protoka izvora Rakonek prema različitim modelima i klimatskim scenarijima dana je u tabličnom prikazu 4.3.3 gdje su iskazani karakteristični protoci s njihovim numeričkim vrijednostima, kao i u tablici 4.3.4 gdje su isti iskazani u postocima u odnosu na karakteristične vrijednosti srednjeg godišnjeg protoka kao i ekstrema, zabilježenih u razdoblju 1971.-2000.

Tablica 4.3.3. Usporedba karakteristični vrijednosti nizova srednjih godišnjih protoka vezanih za odabrana 30-godišnja razdoblja

Razdoblje	SR (m ³ /s)		Max (m ³ /s)		Min (m ³ /s)	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Izmjereni podaci						
1971.-2000.	0,412		0,563		0,262	
MOD2 - DHMZ						
2011.-2040.	0,356	0,458	0,549	2,45	0,151	0,156
2041-2070.	0,310	0,294	0,507	0,536	0,032	0,053
MOD3 – KNMI						
2011.-2040.	0,391	0,400	0,549	0,549	0,180	0,206
2041-2070.	0,402	0,396	0,781	0,479	0,232	0,257
2071.-2100.	0,402	0,375	0,488	0,433	0,263	0,249
MOD4 - DHMZ						
2011.-2040.	0,396	0,369	0,627	0,622	0,097	0,070
2041-2070.	0,425	0,399	0,799	0,537	0,215	0,199

Tablica 4.3.4. Usporedba karakteristični vrijednosti nizova srednjih godišnjih protoka vezanih za odabrana 30-godišnja razdoblja

Razdoblje	SR (m ³ /s)		Max (m ³ /s)		Min (m ³ /s)	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
MOD2 - DHMZ						
2011.-2040.	-14%	11%	-2%	336%	-42%	-40%
2041-2070.	-25%	-29%	-10%	-5%	-88%	-80%
MOD3 – KNMI						
2011.-2040.	-5%	-3%	-2%	-2%	-31%	-21%
2041-2070.	-2%	-4%	39%	-15%	-11%	-2%
2071.-2100.	-2%	-9%	-13%	-23%	0%	-5%
MOD4 - DHMZ						
2011.-2040.	-4%	-11%	11%	10%	-63%	-73%
2041-2070.	3%	-3%	42%	-5%	-18%	-24%

Iz danih je rezultata, kako grafičkih tako i tabličnih, također kao i u slivu površinskog toka Pazinčice, vidljivo da se u budućnosti očekuje nastavak negativnih hidroloških prilika koje se javljaju na tom važnom izvoristu vodoopskrbe u Istri. One će se i u budućnosti, ovisno o pojedinim scenarijima i modelima, manifestirati u sve naglašenijim pojavama sušnih hidroloških prilika. U odnosu na referentno 30-godišnje povijesno razdoblje (1971.-2000.), neki od modela daje za razdoblje 2011.-2040. očekivano smanjenje srednjih godišnjih količina protoka izvora Rakonek u rasponu između 3 i 14%, s time da jedan od modela u jednom od scenarija, predviđa porast od 11 %.

Očekivane negativne promjene srednjih godišnjih protoka su za daljnje 30-godišnje razdoblje (2041.-2070.) po nekim od scenarija još drastičnije i sežu i do smanjenja od oko 29%, ali u jednom od scenarija i povećanje od 3%. Rezultati modela MOD3-KNMI koji ima mogućnost prognoziranja i do kraja 21. stoljeća, pokazuju da bi se do kraja ovoga stoljeća (2071.-2000.), srednji godišnji protoci mogli smanjiti do oko 9%.

Svi modeli također pokazuju da se tijekom tih odabranih 30-godišnjih razdoblja mogu očekivati i puno naglašenije sušne prilike od zabilježenih u povijesti, i to u rasponu do čak 88% smanjenja za ekstremno sušnu godinu. Što se pak tiče pojava iznimno vodnih godina, dio modela pokazuje moguće smanjenje maksimalnih godišnjih protoka u takvim iznimno vodnim godinama u rasponu do 23%, dio pak na povećanje u rasponu do 42%, pri čemu je jedan još ekstremniji podatak o mogućim višestrukim povećanjem zanemaren zbog njegove nerealnosti obzirom na prognozirane promjene hidroloških prilika u slivu Pazinčice.

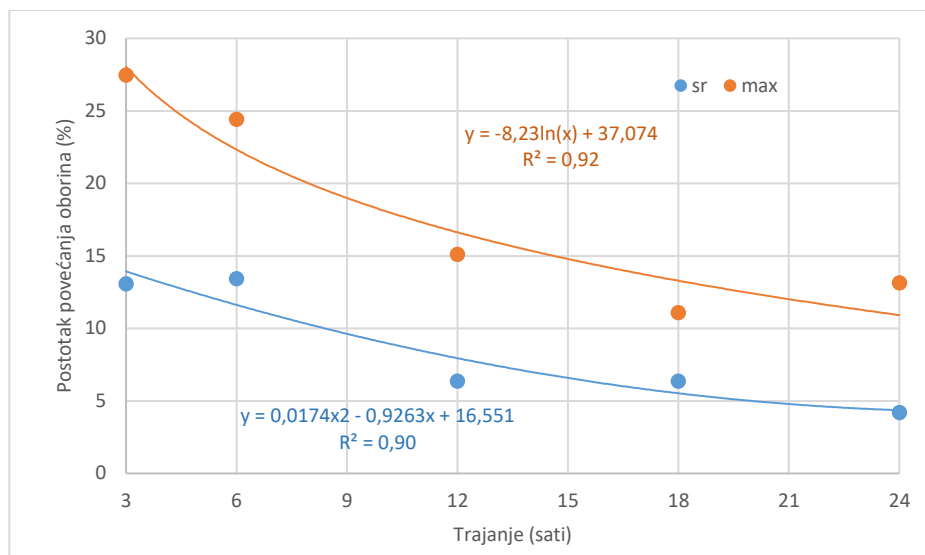
4.4. Hidrološke projekcije utjecaja klimatskih promjena na pojavnost velikih voda u slivu Pazinčice

Obzirom na već prisutne probleme s evakuacijom velikih voda u slivu Pazinčice, posebno je zabrinjavajuće što se u budućnosti mogu očekivati još veći problemi. Razlozi za to su dvojaki. Naime, ukoliko se ne počnu primjenjivati suvremene metode odvodnje oborinskih voda s urbanih sredina koje uključuju sustave za njihovu infiltraciju i retencioniranje oborinskih voda s urbanih područja i prometne infrastrukture, proširenja stupnja izgrađenosti i promjene pokrova slivnih površina s povećanjem udjela vodonepropusnih površina uvjetovati će daljnje povećanje brzina i koncentracija otjecanja pri pojavama velikih voda. S druge je strane tu i očekivani utjecaj klimatskih promjena gdje se u budućnosti očekuju još naglašenije promjene u smislu povećanja kratkotrajnih jakih intenziteta oborina, a time i pojavnosti velikih voda (Eptisa Adria d.o.o., 2017a). Stoga je u ovom dokumentu analiziran i utjecaj klimatskih promjena na maksimalne protoke odabranih profila u slivu Pazinčice za koje su u poglavlju 3.5.2.3 dani rezultati proračuna maksimalnih protoka pri dosadašnjim uvjetima pojavnosti maksimalnih oborinskih intenziteta.

Polazište za kvantificiranu procjenu mogućih promjena značajki HTP/ITP krivulja uslijed utjecaja klimatskih promjena je sadržano u okviru projekta RAINMAN (Građevinski fakultet u Rijeci i DHMZ, 2019). U njoj su sadržani rezultati provedenih analiza koje su, u okviru pripreme izrade „Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj“ za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu, napravili klimatolozi DHMZ-a. Napravljene su klimatske projekcije mogućih klimatskih promjena do 2070.g., pri čemu su korišteni rezultati regionalnog klimatskog modela RegCM4 dobiveni u sklopu projekta „Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama“. Rezultati spomenutih klimatskih procjena za područje Hrvatske (MZOE, 2017) dobiveni su na osnovi rezultata numeričkih integracija regionalnim klimatskim modelom RegCM4.

U razdoblju povijesne klime (u danom dokumentu korišteno je razdoblje počev od 1971., pa do 2005.), sva četiri globalna modela koristila su izmjerene podatke o koncentracijama stakleničkih plinova. Klimatske promjene u budućnosti modelirane su prema RCP4.5 scenariju IPCC-ja, po kojem se očekuje umjereni porast stakleničkih plinova do konca 21. stoljeća. Rezultati numeričkih integracija određeni su kao srednjak ansambla iz četiri individualne integracije RegCM modelom. Svi izračuni napravljeni su na super-računalu VELEbit u Sveučilišnom računskom centru (SRCE) u Zagrebu. Instaliranje, testiranje i izvođenje RegCM eksperimenata, te klimatske izračune uradili su stručnjaci iz DHMZ-a (Eptisa Adria, 2017b).

U sklopu spomenutog projekta RAINMAN, za područje Istre korišteni su rezultati provedenih obrada promjene oborina kraćih trajanja (3, 6, 12, 18 i 24 sata) s postaje Rijeka koja je odabrana kao reprezentativna za sjevernojadransko priobalno područje. Na slici 4.4.1 dan je, za karakteristična trajanja, prikaz međuodnosa prosječnih (prosjeak iz 4 spomenuta modela) i maksimalnih proračunatih vrijednosti kratkotrajnih jakih oborina u budućnosti (anvelopa maksimalnih iz spomenutih 4 modela) i onih iz povijesnog niza podataka 100-godišnjeg povratnog perioda.



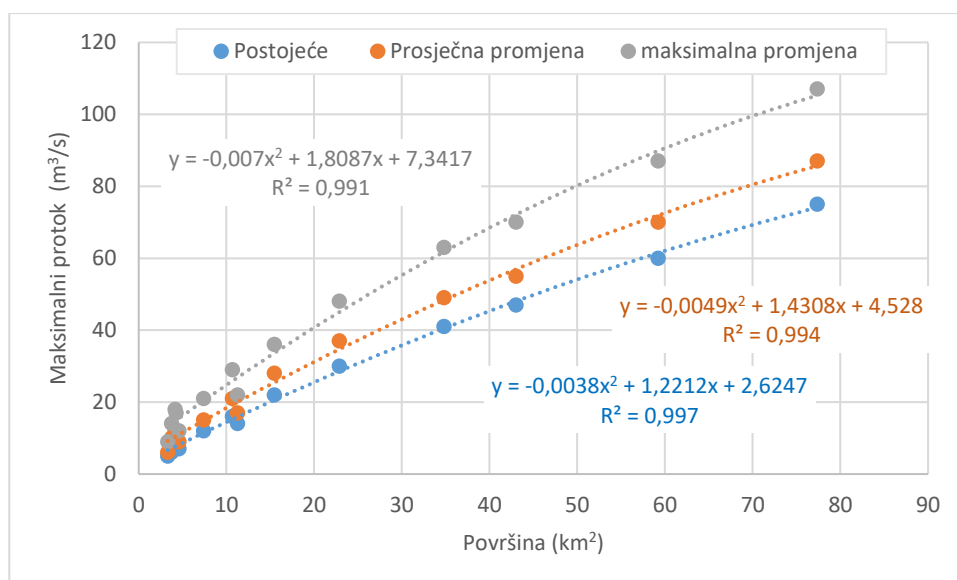
Slika 4.4.1. Usporedni prikaz prosječnih i anvelope proračunatih maksimalnih promjena vjerojatnosti pojave kratkotrajnih jakih oborina 100-godišnjeg povratnog perioda - prema Građevinski fakultet u Rijeci i DHMZ (2019)

Na temelju na slici 4.4.1 utvrđenih regresijskih ovisnosti (za prosječne i za maksimalne očekivane promjene) povećanja kratkotrajnih jakih oborina 100-godišnjeg povratnog perioda u odnosu na trajanje oborina, provedena je i redukcija HTP krivulja za ombrografske postaje Grdinići i Pazin koje se nalaze u slivu Pazinčice. U tablici 4.4.1 dan je prikaz jednadžbi HTP krivulja za srednje i maksimalne očekivane promjene palih oborina za odabrani 20 i 100-godišnji povratni period. Za napomenuti da su klimatske projekcije temeljene s najkraćim intervalom od 3-satnih maksimalnim oborina, tako da su i projekcije njihovih mogućih promjena u budućnosti ograničeno na trajanja dulja od 3 sata, s obzirom da ekstrapolacija HTP krivulja za kraća trajanja nije u dovoljnoj mjeri prikladna. Zbog toga su i procjene maksimalnih protoka napravljene na temelju danih korigiranih HTP krivulja pouzdanije kod profila za koje su vremena koncentracije dulja od sat-dva.

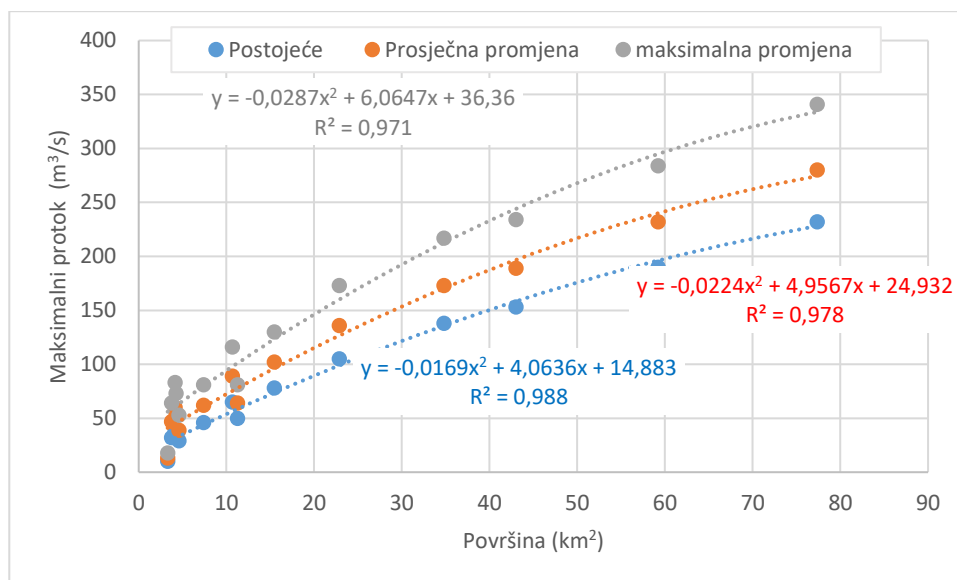
Tablica 4.4.1. Korigirane HTP krivulje za postaje u slivu Pazinčice za uvjete prosječnog i maksimalnog povećanja intenziteta oborina uslijed klimatskih promjena

PP (god)	Za prosječno povećanje intenziteta oborina	Za maksimalno povećanje intenziteta oborina
PAZIN		
20	$33,374 \cdot t^{0,186}$	$42,552 \cdot t^{0,1612}$
100	$38,119 \cdot t^{0,208}$	$48,602 \cdot t^{0,1832}$
GRDINIĆI		
20	$41,225 \cdot t^{0,1673}$	$52,561 \cdot t^{0,1425}$
100	$90,549 \cdot t^{0,1286}$	$115,45 \cdot t^{0,1038}$

S tako korigiranim HTP krivuljama, proveden je proračun maksimalnih protoka na istovrstan način (metodologija, vremena koncentracija, značajke geometrije sliva i toka) kao što je provedeno u okviru točke 3.5.2.3. Rezultati proračuna sadržani su u tablicama 4.4.2 i 4.4.3, kao i na slikama 4.4.2 i 4.4.3.



Slika 4.4.2. Prikaz međudnosa proračunatih maksimalnih protoka 20-godišnjeg povratnog perioda u postojećem stanju kao i u uvjetima prosječne te maksimalne promjene intenziteta oborina u budućnosti



Slika 4.4.3. Prikaz međudnosa proračunatih maksimalnih protoka 100-godišnjeg povratnog perioda u postojećem stanju kao i u uvjetima prosječne te maksimalne promjene intenziteta oborina u budućnosti

Tablica 4.4.2. Prikaz rezultata provedenih analiza povećanja maksimalnih protoka 20-godišnjeg povratnog perioda uvjetovanih klimatskim promjenama za slučajeve prosječne i maksimalne promjene intenziteta oborina

Profil	F (km ²)	Postojeće stanje		Buduće stanje – uz prosječnu promjenu intenziteta			Buduće stanje – maksimalna promjena intenziteta		
		Q _{20 Max} (m ³ s ⁻¹)	q _{20 Max} (m ³ s ⁻¹)	Q _{20 Max} (m ³ s ⁻¹)	q _{20 Max} (m ³ s ⁻¹)	% povećanja	Q _{20 Max} (m ³ s ⁻¹)	q _{20 Max} (m ³ s ⁻¹)	% povećanja
5b	10,69	16	1,50	21	2,00	31,3	29	2,71	81,3
5a	15,47	22	1,42	28	1,78	27,3	36	2,32	63,6
6b	4,13	9	2,18	12	2,98	33,3	18	4,34	100
6a	7,39	12	1,62	15	2,05	25,0	21	2,78	75,0
5	22,86	30	1,31	37	1,62	23,3	48	2,10	60,0
7b	4,58	7	1,53	9	1,95	28,6	12	2,69	71,4
7a	11,27	14	1,24	17	1,49	21,4	22	1,94	57,1
4	34,79	41	1,18	49	1,42	19,5	63	1,80	53,7
3	43,03	47	1,09	55	1,29	17,0	70	1,62	48,9
8a	3,74	6	1,60	10	2,59	66,7	14	3,73	133
9a	4,25	9	2,12	12	2,78	33,3	17	3,95	88,9
2	59,22	60	1,01	70	1,18	16,7	87	1,47	45,0
10a	3,3	5	1,52	6	1,88	20,0	9	2,73	80,0
1	77,37	75	0,97	87	1,12	16,0	107	1,38	42,7

Tablica 4.4.3. Prikaz rezultata provedenih analiza povećanja maksimalnih protoka 100-godišnjeg povratnog perioda uvjetovanih klimatskim promjenama za slučajeve prosječne i maksimalne promjene intenziteta oborina

Profil	F (km ²)	Postojeće stanje		Buduće stanje – uz prosječnu promjenu intenziteta			Buduće stanje – maksimalna promjena intenziteta		
		Q _{100 Max} (m ³ s ⁻¹)	q _{100 Max} (m ³ s ⁻¹)	Q _{100 Max} (m ³ s ⁻¹)	q _{100 Max} (m ³ s ⁻¹)	% povećanja	Q _{100 Max} (m ³ s ⁻¹)	q _{100 Max} (m ³ s ⁻¹)	% povećanja
5b	10,69	65	6,08	89	8,29	36,9	116	10,9	78,5
5a	15,47	78	5,04	102	6,60	30,8	130	8,42	66,7
6b	4,13	39	9,44	60	14,57	53,8	83	20,1	112,8
6a	7,39	46	6,22	62	8,41	34,8	81	11,0	76,1
5	22,86	105	4,59	136	5,95	29,5	173	7,55	64,8
7b	4,58	29	7	39	8,62	34,5	53	11,5	82,8
7a	11,27	50	14	64	5,65	28,0	81	7,20	62,0
4	34,79	138	41	173	4,98	25,4	217	6,23	57,2
3	43,03	153	3,56	189	4,39	23,5	234	5,43	52,9
8a	3,74	32	8,56	47	12,55	46,9	64	17,2	100,0
9a	4,25	37	8,71	54	12,71	45,9	73	17,2	97,3
2	59,22	190	3,21	232	3,91	22,1	284	4,80	49,5
10a	3,3	10	3,03	13	3,89	30,0	18	5,36	80,0
1	77,37	232	3,00	280	3,61	20,7	341	4,40	47,0

Iz danih je prikaza vidljivo da se u budućnosti, ukoliko se ostvare izvjesni scenariji povećanja intenziteta oborina, mogu očekivati vrlo značajne promjene u pogledu pojavnosti maksimalnih protoka iz jednostavnog razloga što veći intenziteti oborina povećavaju udio površinske komponente otjecanja u kraćem vremenu. Što sliv ima manju površinu, promjene bi mogle biti naglašenije, no pri tome, kao što je prethodno spomenuto, valja računati da prognoze promjena intenziteta oborina nisu rađene za trajanja kraća od 3 sata, tako da provedene ekstrapolacije HTP krivulja su samo aproksimativne za procjene maksimalnih protoka na analiziranim profilima s površinom slivova manjom od oko 10 km².

Ukoliko te promjene budu u okviru nekih scenarija prosječnih promjena intenziteta oborina, raspon mogućih promjena maksimalnih protoka 20-godišnjeg povratnog perioda kreće se od povećanja od oko 16% za cjelokupni sliv Pazinčice pa do dvostruko više kod manjih podslivova u scenariju mogućih prosječnih promjena intenziteta oborina. Kod scenarija maksimalnih mogućih promjena intenziteta kratkotrajnih jakih oborina, iskazane promjene u odnosu na postojeće stanje su još naglašenije i kreću se između čak oko 40%-tak kod cjelokupnog sliva Pazinčice pa do blizu, pa i preko 100% kod manjih podslivova.

U slučaju analize mogućih promjena kod 100-godišnjih protoka, procijenjene promjene su za oba scenarija još za oko 10-tak % i naglašenije. No, vrijedi napomenuti da je scenarij maksimalnih promjena intenziteta oborina po svim trajanjima ipak daleko manje realan zbog toga što je generiran kao anvelopa maksimalnih promjena koje daje bilo koji od korištenih klimatskih modela s kojima su prognozirane promjene kratkotrajnih oborina trajanja 3 – 24 sata.

No, i scenarij mogućih promjena u slučaju prosječnih promjena intenziteta oborina daje vrlo upozoravajuće projekcije, jer i prognozirano povećanje maksimalnih protoka od „samo“ 16% kod 20-godišnjeg povratnog perioda te 20,7% kod 100-godišnjeg za cjelokupni sliv Pazinčice ukazuje na daljnje moguće pogoršanje hidroloških prilika u njenim poplavnim zonama. Posebno se to odnosi na poplavnu zonu vezano uz njen ponor zbog njegovog ograničenog kapaciteta poniranja i značajnih poplavnih šteta već i u postojećim uvjetima.

5. POTENCIJALNA TEHNIČKA RJEŠENJA I UPRAVLJANJE VODAMA U SLIVU PAZINČICE

Vode Pazinčice predstavljaju važan resurs – kako za održavanje samoga vodnog ekosustava njenog toka, podzemlja pa i ekosustava rijeke Raše i raškog zaljeva koju one prihranjuju preko više izvorišta na desnoj obali njenoga toka, tako i za njihovo korištenje – neposredno u samom slivu Pazinčice, te posredno za potrebe vodoopskrbe na izvorima hidrološki povezanim s njom. Poseban problem u uvjetima trajanja malovodnih razdoblja predstavlja nekontrolirano korištenje voda za navodnjavanje koje se periodički odvija improviziranim zahvatima, no što se ipak vremenom smanjuje uslijed jačanja kontrola. U tom smislu potrebno je unaprijediti sustav upravljanja na način da se sva korištenja voda mogu odvijati jedino na uređen legalan način, uz sustav definiranja i kontrole ekološki prihvatljivog protoka.

Uz spomenute potrebe unaprjeđenja upravljanja u domeni korištenja voda, nužno je unaprijediti i sustav upravljanja u situacijama pojava velikih voda, kojom prilikom dolazi i do poplavlivanja pojedinih izloženijih dijelova toka Pazinčice, posebno u njoj predponorskoj zoni zbog ograničenog kapaciteta Pazinske jame koja prihvaća vode Pazinčice.

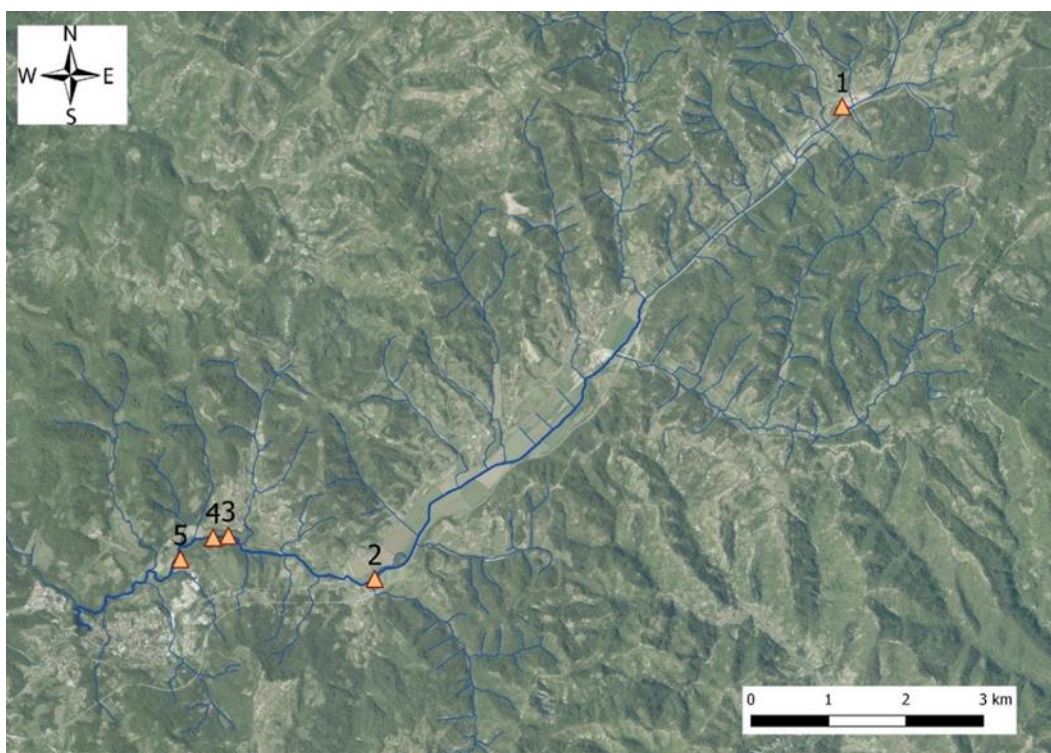
5.1. Korištenje voda u slivu Pazinčice

Vodoopskrba u slivu Pazinčice vezana je za vodoopskrbni sustav Istarskog vodovoda kojemu su izvorišta vodoopskrbe izvori u slivu Mirne kao i akumulacija Butoniga, tako da nisu povezani s vodnim resursima Pazinčice. U slivu Pazinčice zahvaćaju se samo površinske vode za druge namjene. Takvo se korištenje može provoditi jedino uz vodopravnu dozvolu Hrvatskih voda. Hrvatske vode, Vodnogospodarski odjel za slivove sjevernog Jadrana Rijeka (VGO Rijeka) izdale su vodopravne dozvole za korištenje voda u slivu Pazinčice prema petero korisnika: ICC concept d.o.o., OPG Nadir Ravnić, Obrt za poljoprivrednu proizvodnju "DUŠAN", Ivan Dušan, Damir Rimanić, KAMEN d.d. (Slika 5.1.1, Tablica 5.1.1). Korisnik ICC concept d.o.o. zahvaća vodu iz prirodne akumulacije Borut – bare formirane uz Borutski potok od napuštenog pozajmišta gline nekadašnje ciglane, dok ostali korisnici zahvaćaju vodu iz vodotoka Pazinčića. ICC concept d.o.o. i KAMEN d.d. koriste vodu za tehnološke namjere, a preostala tri korisnika za navodnjavanje poljoprivrednih površina. Položaj vodozahvata dan je na slici 5.1.1, a odobrenih količina u tablici 5.1.1.

Ukupno maksimalno godišnje zahvaćanje voda svih navedenih korisnika iznosi 22.800 m³, što na godišnjoj razini iznosi svega 0,70 L/s, a kad bi te količine bile skoncentrirane samo u jednom mjesecu, prosjek bi iznosio 8,8 L/s. Odobrene maksimalne količine (Tablica 5.1.1) su nešto veće – reda veličine ukupno dvostruko više. No, obzirom na stanje Pazinčice u uvjetima malih voda i njen okularno vidljiv gubitak voda i prije nego li one doteku do zone gdje se oni uobičajeno javljaju, očito je da su dijelom prisutna i nelegalna korištenja voda.

Idejnim rješenjem odvodnje i navodnjavanja Pazinštine (IGH, 2013) bila je predviđena izgradnja središnjeg sustava za navodnjavanje 5.944 ha poljoprivrednih površina na Pazinštini (grad Pazin te općine Cerovlje, Gračišće, Karojba, Tinjan, Motovun i Lupoglav), s iskazanim potrebama za

vodom od oko 2,5 mil. m³ u prosječnim godinama te oko 7,5 mil. m³ u sušnim godinama. To je rješenje razmatralo više faznih varijantnih rješenja baziranih ponajviše na korištenju voda Pazinčice s planiranom izgradnjom dvaju velikih akumulacija (Rakov potok i Lipa) u slivu Pazinčice, akumulacija Beram i Marganica na njoj susjednim vodotocima, kao i više mini akumulacija. S obzirom na okolnost da bi planirane velike akumulacije u slivu Pazinčice (akumulacija Rakov potok volumena 5,8 mil. m³, od čega za prihvat vodnog vala rezervirani prostor od 1,1 mil. m³, akumulacija Lipa volumena 3,8 mil. m³, od čega za prihvat vodnog vala rezervirani prostor od 0,55 mil. m³), potopile obradivo zemljište koje se već sada koristi za poljoprivredu, njihova je izgradnja odbačena od strane lokalne zajednice i dana je preporuka da se buduće navodnjavanja reducira u pogledu količina i orijentira na planiranje manjih zahvata.



Slika 5.1.1. Lokacije korisnika za korištenje vode za tehnološke potrebe u slivu Pazinčice: 1 – ICC concept d.o.o., 2 – OPG Nadir Ravnić, 3 - Obrt za poljoprivrednu proizvodnju "DUŠAN", Ivan Dušan, 4 –Damir Rimanić, 5 – KAMEN d.d. (izvor: Hrvatske vode)

Tablica 5.1.1. Prikaz korisnika i vodopravnih dozvola za korištenje vode za tehnološke potrebe u slivu Pazinčice (izvor: Hrvatske vode)

Naziv korisnika	Dozvoljeno zahvaćanje vode		Pozicija uzimanja vode
	(l/s)	Max (m ³ /godišnje)	
ICC concept d.o.o.	5,6	10.000,00	akumulacija Borut
OPG Nadir Ravnić	3	1.000,00	vodotok Pazinčica
Obrt za poljoprivrednu proizvodnju "DUŠAN"		1.000,00	vodotok Pazinčica
Damir Rimanić		800,00	vodotok Pazinčica
KAMEN d.d.	3,5	10.000,00	vodotok Pazinčica

Za spomenuti je i korištenje voda u slivu Pazinčice za slatkovodni ribolov. „ŠRD Pazinčica ima za te namjene pod ingerencijom vode Pazinčice kao i bare u Cerovlju (<https://www.central-istria.com/hr/aktivnosti-activities-aktivurlaub/ribolov-fishing>). Od riba su zastupljene gotovo sve vrste kojima odgovara barsko stanište, pa tako voda obiluje šaranom, kojim se redovito poribljava, babušorn, američkim somićem, žutookom, klenom, kederom, štukom, grgečom, ali i linjakom i rakom (<https://www.pijanitvor.com/threads/bare-cerovlje-istra.2731/>).

5.2. Osiguranje ekološki prihvatljivog protoka

Prema sagledavanjima provedenim u dokumentima Mjerenje izdašnosti izvorišta Modro oko (Građevinski fakultet u Rijeci i Higma d.o.o., 2020) te Definiranje ekološki prihvatljivog protoka Gacke i Like: Hidrološke i hidrogeološke podloge (HGI i Građevinski fakultet u Rijeci, 2021), u suvremenim konceptima integralnog gospodarenja, primjereno gospodarenje vodnim resursima podrazumijeva takav vid gospodarenja koji respektira i njihove prirodne ekološke značajke i funkciju, odnosno ekološko okruženje vezano uz neki resurs. Ekosustav je biološki i funkcionalni sustav ili cjelina koja omogućuje održavanje života i uključuje sve biološke i ne-biološke varijable u toj cjelini (Jørgensen i Bendoricchio, 2001). Pri tome je jedna od presudnih varijabli hidrološka komponenta. Stoga je pri vodnogospodarskim sagledavanjima mogućnosti korištenja nekog vodnog resursa, nužno je sagledavati i ekološku komponentu koja je i dominantna pri donošenju konačnih odluka. Očekivane promjene vodnog režima nekog vodnog resursa inicijalno se sagledavaju preko definiranja, odnosno potrebe osiguravanja tzv. ekološki prihvatljiva protoka (EPP). Pri tome upravo hidrološki pokazatelji uglavnom predstavljaju polaznu osnovu. Dosadašnja praksa je bila drugačija, prioritetno se je gledalo da se zadovolje zahtjevi korisnika koji su zahvaćali vodu iz nekog resursa, zbog čega prilikom recentnih ocjenjivanja stanja voda u vodotocima vrlo često vodotoci na kojima postoje takvi zahvati nemaju dobro stanje voda, ili su pak ugrožene neke vrste i staništa koje su bile vezane uz određeni lokalitet u njegovom prirodnom stanju – prije provedenih promjena u smislu uspostave ili intenziviranja pojedinih vidova korištenja voda.

Uredba o standardu kakvoće voda (NN 96/19) u članku 22. navodi da „ekološki prihvatljiv protok osigurava hidrološki režim koji je usklađen s postizanjem okolišnih ciljeva iz članka 46. Zakona o vodama u tijelima površinskih voda osim umjetnih i znatno promijenjenih vodnih tijela“ te da će se metodologija za određivanje ekološki prihvatljivog protoka temeljiti na kriterijima za postizanje dobrog stanja voda propisanim spomenutom Uredbom. Međutim, iako su člankom 70. Hrvatske vode obvezane objaviti tekst te metodologije na mrežnim stranicama Ministarstva i Hrvatskih voda u roku od 12 mjeseci od dana stupanja na snagu spomenute uredbe, to do zaključenja ovoga dokumenta još nije provedeno. Stoga se za sada u ovom poglavlju ne mogu respektirati recentni hidrološki elementi određivanja ekološki prihvatljivog protoka, kad isti još nisu niti predloženi, već se navode neki drugi najčešće korišteni metodološki pristupi na domaćim prostorima. Prilog 2 spomenute Uredbe navodi elemente ocjene ekološkog stanja rijeka, među kojima je i hidrološki režim (količina i dinamika vodnoga toka, veza s podzemnim vodama), ali bez detaljnijeg tumačenja načina provedbe takvih ocjena i kriterija njihova vrednovanja.

U europskom zakonodavstvu Europska je komisija razmatrala problematiku ekološki (prihvatljivih) protoka, te je u tom smislu donesen vodič br. 31 Ecological flows in the implementation of the

Water Framework Directive (EU Commission, 2015). U njemu se navodi da postoje brojne metode za njegovo određivanje, ali se ne daju konkretne sugestije za postupke primjene hidroloških procjena, već je težište dano na preporuke za identifikaciju pritisaka i monitoring stanja kako hidroloških prilika, tako i drugih značajki voda, na područjima gdje se očekuje porast pritisaka uslijed zahvaćanja vode za njihovo korištenje.

No, EPP je važećim Planom upravljanja vodnim područjima 2016.-2021. (NN 55/2016) eksplicitno naveden kao jedna od važnih mjera smanjenja hidromorfoloških utjecaja za nove zahvate/opterećenja. U danom slučaju za spomenutu mjeru „Osigurati povoljni režim protoka (ekološki prihvatljiv protok) u vodotocima“, navodi se da su područje njezine primjene vodna tijela površinskih voda na područjima namijenjenim zaštiti staništa ili vrsta gdje je održavanje ili poboljšanje stanja voda bitan element njihove zaštite. Navodi se i da je za njezinu provedbu nadležan korisnik. Stoga, neovisno o tome što na području Hrvatske ne postoji propisani metodološki pristup za procjenu EPP-a, očito je da se o potrebi osiguranja EPP mora voditi računa i stoga su u nastavku dani elementi mogućih orijentacijskih hidroloških procjena, temeljenih na dosadašnjoj praksi u Hrvatskoj, temeljem kojih je i potreba osiguranja EPP navedena u spomenutom recentnom Planu upravljanja.

U Hrvatskoj se do prije dvadesetak godina uglavnom isključivo koristio termin biološki minimum dok se u svijetu koristi nekoliko termina od kojih danas prevladava ekološki prihvatljiv protok (u daljnjem tekstu EPP), koji se u terminološkom smislu udomaćio i u Hrvatskoj. U tom smislu dobro terminološko obrazloženje dali su Mišetić i sur. (2003). Oni ističu da je osnovno načelo pri ocjeni EPP nužnost da zadržani dotok nizvodno od vodozahvata, nakon što se zadovolje sve potrebe za vodom, treba biti dostatan za održavanje autohtonih cenoza matičnog vodotoka. Budući da se takav zadržani dotok temelji na uvažavanju hidrauličkih, hidroloških i biološko-ekoloških značajki vodotoka, zatim gospodarstva i prostorno-planske dokumentacije, njegovom definiranju treba pristupiti tako da se uvažavaju prisutni gradijenti fizikalno-kemijskih i bioloških varijabli od izvorišta do ušća te prirodne i društvene značajke slivnog područja. Zbog toga autori smatraju da je prikladniji naziv za zadržani dotok „ekološki prihvatljiv protok“ nego „biološki minimum“.

Pri određivanju EPP uz parametar protoke i uz nju vezanih također hidroloških svojstava vode u koritu (razina vode, brzina, svojstva nanosa), pri definiranju EPP ravnopravno figuriraju i fizikalno – kemijska svojstva, kao i odabrana biološka svojstva vodnih sustava. Uz to, nastoji se respektirati i prisutnost sezonskih različitosti analiziranih parametara tijekom godine. Takav pristup, odnosno stav da EPP za određenu dionicu otvorenog vodotoka ne treba nužno biti definiran kao jedna vrijednost minimalnog protoka koja važi tijekom cijele godine iskazan je i u nekim ranije datiranim domaćim radovima (Bonacci i Roje-Bonacci, 1997 a i b). Često se radi o nizu različitih protoka koje treba ispuštati tijekom različitih sezona godine. Oni mogu biti povezani s lokalnim mikroklimatskim uvjetima ili društvenim zahtjevima, a najčešće su povezani sa životnim stadijima izabranih bioindikatorskih vrsta. Kako se za to uobičajeno koriste ribe, različite vrijednosti EPP-a trebaju zadovoljiti njihove potrebe za vodom u otvorenom vodotoku tijekom mriještenja, polaganja jajašaca, migracije itd.

U nastavku je dan pregled i osvrt na hidrološke aspekte nekih od metoda određivanja EPP-a koje se za vodotoke kakva je Pazinčica i njenih pritoka koriste u svijetu. Prikazani su karakteristični hidrološki pokazatelji koji figuriraju u tim metodama, a čija je moguća primjena od strane pojedinih

autora razmatrana i preporučivana i za područje Hrvatske (Mišetić, 1995; Bonacci, 2003; Mišetić i drugi, 2003; Mišetić i Pavlin, 2004).

Takozvani brzi i približni postupci kako ih definira Bonacci (2003), odnosno jednostavne metode kako ih definira Mišetić u studiji Elektroprojekta (2000), a koje uključuju i po Bonacciju posebno specificiranu grupu metoda s metodama detaljnije analize jednog parametra, postupci su koji su zasnovani na iskustvenim načelima. Radi se o postupcima nastalim u pionirskom razdoblju određivanja EPP-a. Prema formulaciji iz spomenute studije Elektroprojekta, radi ograničenog broja podataka na kojima se baziraju vrijednosti protoka, protoke definirane ovim metodama više odgovaraju načelima ranije korištenog termina „biološki minimum“ nego terminu „ekološki prihvatljiv protok (EPP)“, odnosno protok koji osigurava održavanje biološke ravnoteže u matičnom vodotoku nizvodno od vodozahvata do ušća prve veće pritoke ili prijamnika njihovih voda.

Ishodište tih metoda nalazi se u mjerenim hidrološkim podlogama. Prihvatljivi su i često korišteni zbog toga što ne traže previše podataka i dugotrajan rad. Neophodno je raspolagati s hidrološkim podlogama o malim i srednjim protocima. U grubo je potrebno poznavati geometriju i morfologiju dijela vodotoka za koji se određuje EPP, kao i opće ekološko i ostalo stanje na razmatranom potezu. Ovi postupci često predstavljaju samo preliminarni dio analize na koji se nastavljaju daljnja istraživanja potrebna za donošenje konačnih odluka. U tom su smislu išli i prijedlozi načina određivanja EPP u Hrvatskoj, dani u radu Mišetića i Pavlina (2004). U tom su radu dane metodološke preporuke vezane uz tip vodotoka (vodotoci strmih ili razvedenih obala) kao i raspoloživost primjerenih hidroloških podataka (ili njihov nedostatak).

Prema Mišetiću i Pavlinu (2004) predložen je interesantan i za dane prilike u Hrvatskoj vrlo pogodan pristup za određivanje EPP. Dok se ne steknu uvjeti za primjenu složenih metoda i/ili metoda biološkog odgovora, predložen je i razrađen jedan kompromisan metodološki pristup. Polazište mu čine karakteristične hidrološke značajke vodotoka, a navodi se i da je za definiranje EPP u matičnom vodotoku nizvodno od vodozahvata do restitucije osim hidroloških podataka i obrada potrebno poznavati i niz drugih morfoloških, bioloških, kao i značajki kakvoće voda. Ističe se i da, budući da je zadržani dotok vode u vodotoku nizvodno od vodozahvata definiran hidrološkim metodama u većini slučajeva nedostatan za održavanje prirodne biološke raznolikosti matičnih vodotoka jer ne uzima u obzir bio-ekološke značajke vodotoka i njegova zaobalja, ovako dobivene vrijednosti treba podvrgnuti daljnjoj analizi uvođenjem ekoloških parametara. Autori predlažu da se hidrološkim metodama definirana početna vrijednost biološkog minimuma provjeri hidrauličkim proračunom. Takvim hidrauličkim proračunom provjerava se dostatnost hidroloških uvjeta za odvijanje potrebne prostorne i vremenske dinamike osnovnih ekoloških parametara nizvodno od vodozahvata nužnih za osiguranje životnih uvjeta karakterističnih vrsta riba. Spomenutim hidrauličkim računom provjerava se dubina i brzina vode, te prekrivenost korita vodom na karakterističnim poprečnim presjecima dijelova vodotoka koje osigurava zadržani dotok definiran hidrološkim metodama.

Problematikom određivanja ekološki prihvatljiva protoka bavi se i Žugaj (2015) koji pri tome koristi termin „biološkog minimuma“ odnosno „dotoka koji se mora zadržati u vodotoku“, te koji daje pregled kriterija koji se koriste u 15 europskih država kod ocjena takve kritične vrijednosti dotoka pri projektiranju malih hidroelektrana, u kojim slučajevima se u praksi primjenjuju stroži kriteriji u odnosu na zahvaćanje voda za potrebe vodoopskrbe. Autor stoga nalazi opravdanje da se i u

Hrvatskoj pri ocjenama EPP koristi hidrološki pristup, barem kao orijentaciju u donošenju odluke o njegovoj veličini. Među takvim hidrološkim pristupima zbog svoje pogodnosti posebno izdvaja Mattheyevu formulu koja se koristi kad su raspoloživi višegodišnji nizovi podataka hidroloških mjerenja i opažanja.

Vezano uz hidrološke elemente ocjene EPP, za istaknuti je i ograničenja u pogledu ukupnog godišnjeg korištenja vodnih resursa. Bonacci i Roje-Bonacci (1997a i b) ističu da se iz vodotoka tijekom godine ne bi trebalo oduzimati više od 30% njegove vodne mase.

Interesantan i pragmatičan je pristup procjeni EPP koji se primjenjuje u susjednoj Bosni i Hercegovini, dijelom zasnovan na realizaciji projekta „Živjeti Neretvu“ koji je financiran od strane norveške vlade i provodeći u suradnji WWF-om iz Norveške i stručnjacima iz EU, a koji je ugrađen i u Pravilnik o načinu određivanja ekološki prihvatljivog protoka (SN FBiH 4/2013). Po tom pravilniku procedura određivanja EPP sastoji se iz dvije razine procjene: I – opća procjena EPP za sva vodna tijela primjenom hidrološke metode dane predmetnim pravilnikom, te II – posebna procjena EPP za vodna tijela u zaštićenim područjima, kao i za područja koja nisu proglašena zaštićenim, a koja imaju izuzetne vrijednosti za očuvanje (prisustvo ugroženih staništa ili vrsta, povijesno-kulturološke ili ambijentalne vrijednosti i sl.), u kojim slučajevima se EPP utvrđuje korištenjem bioloških i ekoloških kriterija, kao dodatak hidrološkoj metodi.

Pragmatičnost ovog pravilnika, osim u prilično jednostavnom i dobro razrađenom metodološkom pristupu određivanja EPP posebno u kontekstu hidrološkog pristupa, ogleda se i u tome da se u jednom posebnom članku navodi i izuzetak, odnosno da se odredbe ovog pravilnika ne primjenjuju u slučaju kada se radi o zahvaćanju vode za javnu vodoopskrbu stanovništva vodom za piće i kada se ne mogu ispuniti zahtjevi za EPP propisani ovim pravilnikom. U tom se slučaju primjenjuje odredba Zakona o vodama Federacije BiH prema kojoj se ekološki prihvatljiv protok definira kao „minimalni srednji mjesečni protok 95% od vjerovatnoće pojave“.

Spomenutim Pravilnikom je regulirano da se u situacijama kada je prirodni protok na mjestu zahvata manji od proračunatog EPP, za EPP uzima vrijednost prirodnog protoka na mjestu vodozahvata, te u toj situaciji nosilac prava iz vodnog akta ne smije zahvaćati vodu. To je važna odredba jer se vrlo često definirana vrijednost EPP poistovjećuje s konstantnom vrijednošću koju bi korisnik zahvata trebao konstantno ispuštati u vodotok, čak i u slučajevima kada su prirodni dotoci manji od definirane vrijednosti EPP.

U ovom dokumentu, obzirom na nedostatak propisane metodologije za procjenu EPP u Hrvatskoj, preliminarna procjena hidroloških elemenata EPP za profil hidrološke postaje Dubravica – Pazinčica provedena je na temelju dvaju najčešće korištenih metodoloških postupaka koji se temelje na raspoloživim dostatnim hidrološkim podacima, i to:

a) za vodotoke umjereno strmih obala i vodotoke razvedenih obala od hidroloških metoda preporučeno je da se koristi (Mišetić i Pavlin, 2004):

- metoda po kojoj se biološki minimum (EPP) definira kao prosječni minimalni godišnji protok određen kao aritmetička sredina godišnjih apsolutnih minimalnih zabilježenih protoka u promatranom razdoblju

$$Q_E = Q_{MIN(SR)}$$

to u danom slučaju, prema tablici 3.5.2, EPP bi iznosio svega 0,004 (m³s⁻¹)

No, vrijedi napomenuti da su hidrološki podaci o protocima na profilu Dubravica već bili reducirani neregistriranim korištenjima voda uzvodno od postaje Dubravica, tako da ni zabilježene minimalne godišnje vrijednosti protoka nisu odražavale prirodni režim Pazinčice koja u ekstremnim situacijama iznimnih suša i uzvodnijih korištenja voda zna i potpuno presušiti.

b) alarmantna granična vrijednost EPP-a Q_E

Radi se o, po Bonacciju (2003), najnižoj trenutačnoj vrijednosti protoka ispod koje se ne smije ići:

$$Q_E = 0.2Q_{80\%}$$

pri čemu je $Q_{80\%}$ protok 80% trajanja na srednjoj krivulji trajanja.

to u danom slučaju iznosi, prema rezultatima obrada krivulja trajnosti u poglavlju 3.5.3 iznosi:

$$Q_E = 0,2 * 0,030 = 0,006 \text{ (m}^3\text{s}^{-1}\text{)}$$

Također ni u danom slučaju podaci o malim vodama, odnosno na osnovu njih izvedena krivulja trajanja nije meritorna za ocjenu stanja prirodnih dotoka malih voda Pazinčice, jer i na osnovu njih proračunata alarmantna granična vrijednost protoka daje manje vrijednosti protoka od očekivanih za prirodno stanje.

c) Kriterij ograničenja u pogledu ukupnog godišnjeg korištenja vodnih resursa - prema

Bonacciju i Roje-Bonacci (1997a i b) – 30% od ukupne vodne bilance.

To, prema tablici 3.5.2 iznosi = 0,3 * 0,805 = 0,242 (m³s⁻¹), odnosno oko 7,6 mil. m³ godišnje što odgovara planiranim količinama za zahvaćanje voda za potrebe navodnjavanja na cjelokupnom području Pazinštine, dakle ne samo iz Pazinčice, nego i iz Beramskog potoka i vodotoka Marganice.

Obzirom na nedostatak obvezujuće metodologije za ocjenu EPP, kao i opterećenost hidroloških podataka neregistriranim zahvaćenim količinama voda tijekom malovodnih razdoblja, do donošenja Pravilnika za određivanje ekološki prihvatljivog protoka koji je najavljen u Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 96/19) preporuča se korištenje procijenjenih vrijednosti EPP danih u Idejnom rješenju odvodnje i navodnjavanja Pazinštine (IGH, 2013), temeljenih na pragmatičnom pristupu - površini slivnog područja, gdje se, prema Bonacciju (2003) za vodotoke na manje propusnom terenu uzima specifični protok od 2 L/s/km².

Prema tim je kriterijima, u spomenutom dokumentu IGH (2013) za Rakov potok na profilu brane određen EPP od 0,023 m³s⁻¹, a za Lipu 0,021 m³s⁻¹. Prema tom kriteriju, za profil hidrološke postaje Dubravica na glavnom toku Pazinčice (s površinom od 59,22 km²) procijenjena vrijednost EPP bi iznosila 0,118 m³s⁻¹, a što prema obradama krivulje trajanja srednjih dnevnih protoka odgovara trajanju od oko 60%. To znači da se velik dio vremena (za sušnih godina i najveći broj dana u godini) uopće ne bi smjeli dodatno zahvaćati vode iz Pazinčice i njenih pritoka nizvodno od spomenutih profila planiranih akumulacija za potrebe njihova korištenja.

5.3. Zaštita od poplava u slivu Pazinčice

Strategija zaštite od poplava u slivu Pazinčice, pogotovo njenog najugroženijeg, najnižvodnijeg dijela toka pred utokom u Pazinsku jamu, može se zasnivati na nekoliko načina – kako strukturalnih, tako i upravljačkih, kao i njihovom kombinacijom. Radi se o mogućnostima redukcije vodnih valova u slivu Pazinčice u retencijama i akumulacijama, odvodnji dijela velikih voda izvan sliva Pazinčice, prilagodbi velikim vodama s unaprjeđenjem sustava prognoziranja i dojava kao i samim čišćenjem ponora pazinske jame kao jednim od elementarnih početaka.

Uz to, izvjesno smanjenje velikih voda moguće je postići dugoročnim aktivnostima u slivu u vidu njegovog daljnjeg pošumljavanja, revitalizacije pojedinih dionica toka s povećanjem retencijskih mogućnosti, infiltracijom oborinskih voda na područjima obuhvaćenim urbanom odvodnjom i slično. No, prije svega takvi zahvati mogu pomoći u redukciji očekivanih povećanja maksimalnih protoka u uvjetima prisutnih i nastupajućih manifestacija klimatskih promjena, nego li što bi mogli značiti za smanjenje postojećih vršnih protoka. U nastavku su prodiskutirane spomenute mogućnosti i njihova ograničenja.

5.3.1. Čišćenje Pazinske jame

Potreba čišćenja ponora Pazinske jame od doplavljenog materijala iz sliva, prije svega trupaca i drugog raznog otpada sa šumskih i poljoprivrednih površina navedena je još početkom 20. stoljeća, kada je naplavljenog materijala u jami i njenom predsifonskom dijelu bilo puno manje. Na temelju recentnih istražnih radova utvrđeno je da se najviše otpadnog materijala nalazi u Martelovom jezeru u volumenu od oko 3.000 m³. Tip otpadnog materijala možemo svrstati u 3 kategorije:

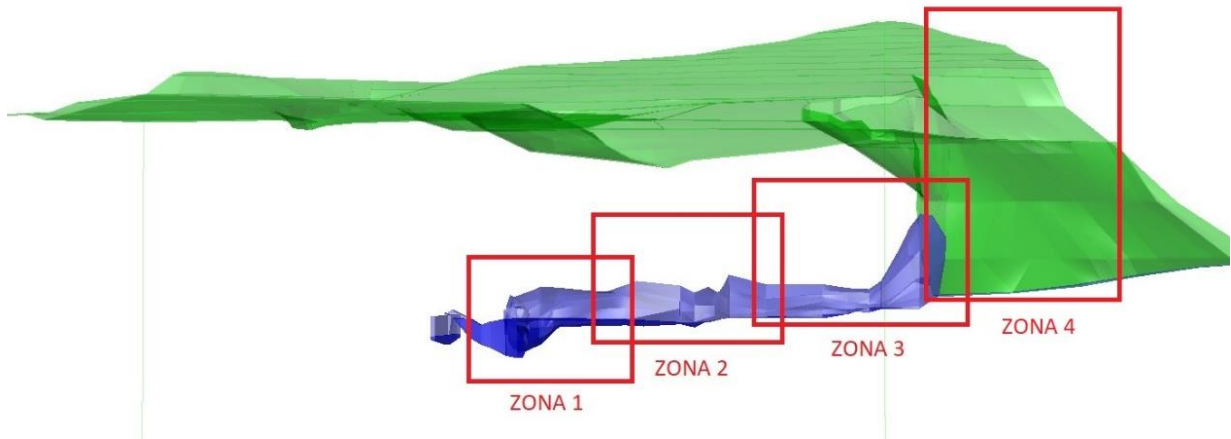
- Drveni trupci koji slobodno plutaju po površini jezera
- Neorganski antropogeni otpad koji pluta po površini jezera
- Zbijeni kompaktni organski materijal ispod površine jezera

Prema dokumentu „Plan izvlačenja trupaca iz Pazinske jame“ (Quadruvium, 2019) ovisno o tipu otpadnog materijala treba primijeniti i metodologiju sabiranja i izvlačenja. Za slobodno plutajuće trupce koristiti će se metode povlačenja trupaca po površini jezera do obale u Martellovoj dvorani (Zona 1, slika 5.3.1). Za neorganski antropogeni materijal koristiti će se sabirne mreže koje će se čamcem transportirati do Martelove dvorane. Za zbijeni kompaktni organski materijal moraju se koristiti tehnike podvodnih radova, odnosno podvodnog piljenja i podizanja tereta na površinu vode.

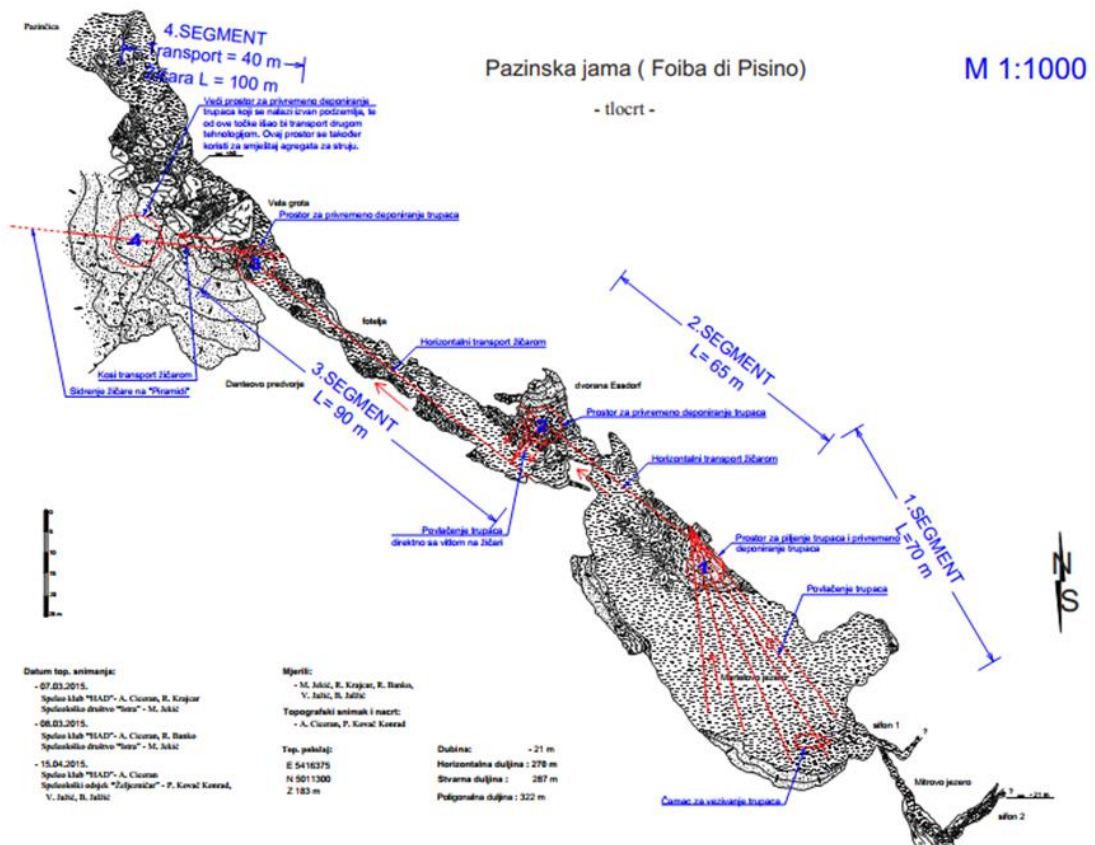
Sav materijal biti će inicijalno deponiran u Zoni 1. Iz Zone 1 materijal će postepeno biti prebačen na obalni dio Zone 2 iz kojeg će se kroz Zonu 3 izvlačiti na ulaz u jamu. Sa ulaza u jamu, otpad će se izvlačiti do ceste, na zapadnu stranu mosta Vršić (Slike 5.3.1 i 5.3.2). Pri tome su specifični uvjeti rada:

- Problem transporta građevinskih strojeva i alata do Martelovog jezera
- Potreban angažman različitih specijalista, ronioca za podvodne radove, speleologa za visinske radove, speleologa za raspiljivanje i manipulaciju otpadom preko žičara, radnika za utovar otpada na cesti, prijevoznika

- Problem hidroloških uvjeta, po potrebi brzo izvlačenje ljudstva i opreme
- Problem višekratnog postavljanja mehanizacije u linije za izvlačenje
- Potreba izgradnje sustava žičara za sve Segmente radi sinhroniziranog izvlačenja od podzemnog jezera do krajnjeg deponija u petom Segmentu



Slika 5.3.1. Izvlačenje otpada po zonama



Slika 5.3.2. Situacijski prikaz plana izvlačenja otpada

Za podizanje stabala koristile bi se gurtne pojačane nosivosti (500 kg – 1000 kg) koje su se omotale oko prikladnog mjesta na trupcu, ovisno o položaju trupca i njegovom težištu (korijen-krošnjja). Na gurtu se privezuje balon za podizanje tereta određenog volumena (na korijen 500 – 1000 kg, na krošnjju 100 - 500kg). Baloni se pune zrakom iz ronilačkih boca da bi se dobio dovoljan uzgon kako bi podigao trupac na površinu vode, odnosno na 1 - 2 m dubine koliko iznosi duljina balona (Slika 5.3.3).



Slika 5.3.3. Podizanje trupca balonom

Za piljenje stabala koristile bi se hidrauličke pile jer su pojedina stabla uglavljena. Svi dijelovi stabala koja su odvojena moraju prethodno biti osigurani čeličnim užetom ili statičkim užetom ili padobranom. Manje grane pilile bi se ručnim pilama.

Izvlačenje trupaca iz podzemnog kanala Pazinske jame predviđa se izvesti u 5 Segmenta, odnosno 5 tehnološka procesa. Svaki segment mora imati na kraju prostor za privremeno deponiranje trupaca. Oprema za podizanje i povlačenje preporuča se da bude električna zbog loše cirkulacije zraka u podzemnom kanalu. Stoga se planira dovlačenje većeg inverterskog trofaznog agregata na ulazu u podzemlje stalne snage cca 5 kW, te razvlačenje kroz kanal nekoliko produžnih trofaznih energetskih kabela u ukupnoj dužini od 180 m. Kablove se preporuča postaviti na veću visinu kako ne bi došlo do oštećivanja istih i kako ne bi smetali za izvlačenje trupaca. Također se preporuča opremanje kanala LED reflektorima radi lakšeg i sigurnijeg obavljanja radnih procesa.

Za izvlačenje stabala i granja sa površine vode i transport kroz Segmente 1, 2, 3 i 4 koristiti će se sistemi žičara koji će se konstruirati od građevinskih dizalica ovješene na žičaru od čeličnog užeta koje je provučeno preko špiljskih kanala. Pomicanje dizalice po žičari je omogućeno uz pomoć električnog građevinskog vitla, a povratno konopcima preko kolotura. Na građevinsku dizalicu je namotano čelično uže potrebnih duljina. Osim građevinskih dizalica koje su spojene na agregat koristi se i pomoćna motorna dizalica sa statičkim užetom za primicanje trupaca obali. Za veća i teža stabla koristi se Tirfor dizalica, čelično uže i gurtne velike nosivosti. U Segmentu 1, na obali Martelovog jezera veći trupci pile se akumulatorskim ili električnim motornim pilama kako bi se

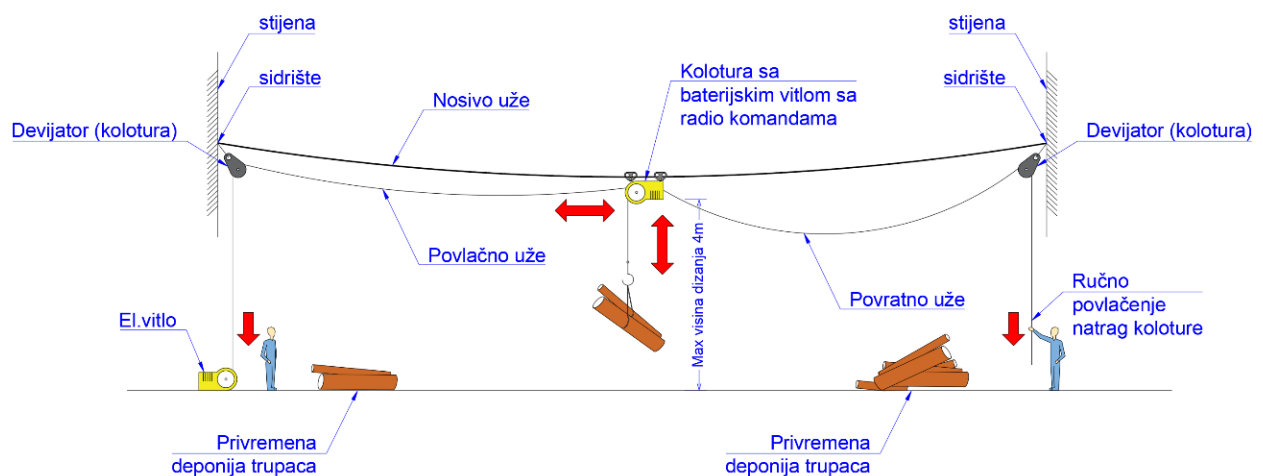
smanjila količina plinova. Ovakav materijal povezuje se gurnama ili se stavlja u za to predviđene vreće te se postavljenom žičarom transportira do kraja Segmenta 3 i 4.

SEGMENT 1

U 1. segmentu vršilo bi se izvlačenje trupaca sa jezera na obalu (poluotok). Izvlačenje bi se izvelo pomoću električnog građevinskog vitla povlačne sile do 600 kg, a za veće i teže trupce koristila bi se ručna povlačna dizalica „Tirfor“. Pričvršćivanje trupaca za vučno uže izvodilo bi se pomoću čamca. Povrat vučnog užeta do čamca može se izvesti pomoću dodatnog užeta koji bi bio vezan za kraj vučnog užeta. Na obali trupci bi se rezali električnom pilom na prikladne komade za daljnji transport. Najveća dužina povlačenja trupaca bila bi 70 m što uključuje dužinu povlačenja po jezeru i dužinu povlačenja po obali.

SEGMENT 2

Transport u 2. segmentu vršio bi se tek nakon što bi se deponirala određena količina trupaca na obali u 1. segmentu. Transport se sastoji od vezivanja trupaca na obali, podizanje trupaca pomoću vitla koje se nalazi na horizontalnoj žičari, horizontalno povlačenje trupaca, te spuštanje trupaca na poziciji privremenog deponiranja (Slika 5.3.4). Dužina žičare (transporta) iznosi 65 m.



Slika 5.3.4. Shema transporta trupaca kroz podzemni kanal u 2. i 3. segmentu

Žičara bi se trebala sastojati od slijedećih osnovnih elemenata:

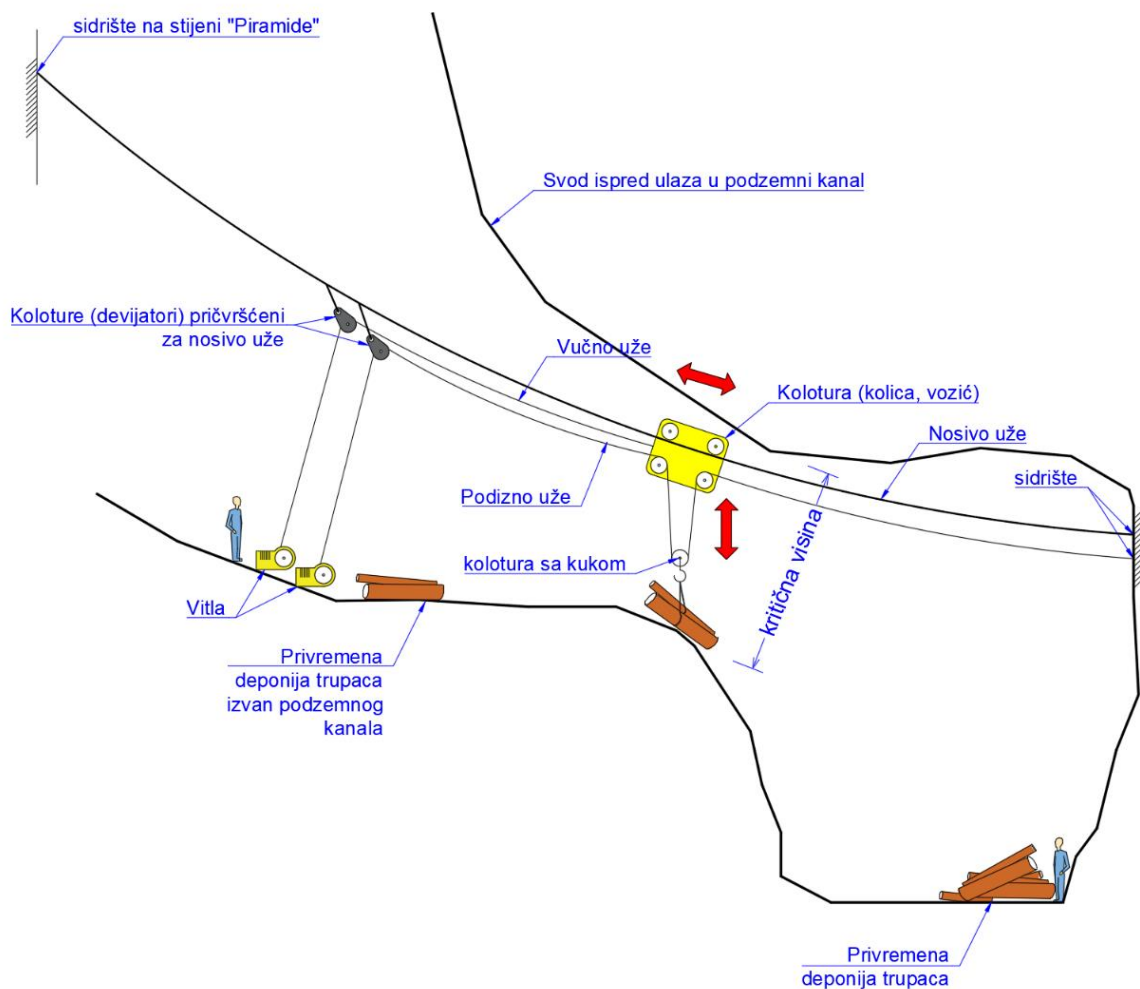
- Nosivog čeličnog užeta promjera \varnothing 12 mm prešane strukture radi manjeg trenja koloture koja putuje užetom
- Inox sidro promjera \varnothing 18x400 mm za nosivo čelično uže koje se postavlja u stijenu na svaku stranu po jedan komad
- Kolotura (kolica) sa baterijskim vitlom i radio komandama za vertikalno podizanje trupaca
- El. građevinsko vitlo na poziciji istovara trupaca za povlačenje koloture
- Uže za ručno vraćanje koloture na poziciju utovara trupaca

SEGMENT 3

Princip transport u 3. segmentu bio bi isti kao u prethodnom segmentu jedino što bi u početku transporta imali bočno povlačenje trupaca sa 2. deponije do ispod linije žičare. Povlačenje bi se izvelo direktno sa baterijskim vitlom koji je kolotutom ovješeno za žičaru.

SEGMENT 4

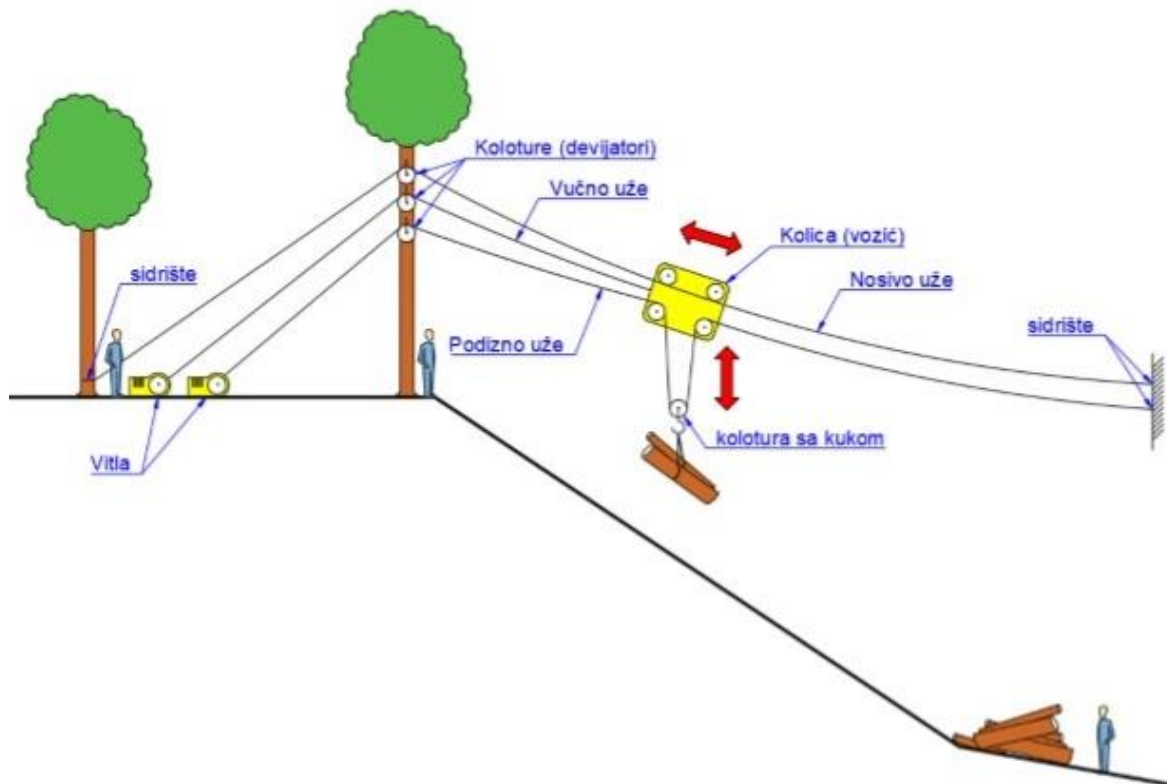
U ovom segmentu najveći problem je mala visina između svoda podzemnog kanala i kamena koji stoji ispred ulaza pod nazivom „Vela grota“. Predviđa se izrada kose žičare koja bi se sidrila na Piramidi (Slika 5.3.5). Kosa žičara za razliku od prethodnih nema povratno uže što pojednostavljuje i olakšava proces rada. Zbog male visine kroz koju moraju proći trupci, žičara bi se izvela sa dva vitla koja se sidre na prostoru 4. privremene deponije (vitlo ovješeno na koloturi se ne preporuča zbog gubitka visine između nosivog čeličnog užeta i trupaca). Pošto se 4. deponija nalazi izvan podzemnog kanala, vitla mogu biti motorna i po mogućnosti hidraulična zbog boljeg doziranja brzine povlačenja i dizanja. Dužina nosivog čeličnog užeta koje se sidri na „Piramidu“ iznosi oko 100 m, a dužina kosog izvlačenja biti će oko 40 m.



Slika 5.3.5. Shema transporta trupaca u 4. segmentu

METODOLOGIJA SEGMENT 4 - SEGMENT 5

Peta zona obuhvaća izvlačenje nakupine trupaca ispred ponora i trupaca sa deponija u blizini Velike grote. Iz te zone trupci bi se izvlačili i deponirali pokraj Piramide te se odatle izvlačili na parcelu na zapadnoj strani kanjona (Slika 5.3.6).



Slika 5.3.6. Shema transporta kroz Segment 5

U prvom dijelu 5. segmenta izvlačenje bi se izvodilo u 4 faze - povlačenje trupaca u okolici Piramide do pozicije ukapčanja na drugu žičaru - montaža druge žičare od 180 m, te izvlačenje do zapadnog oboda kanjona Pazinske jame - strojni ukrcaj trupaca na kamion i odvoz.

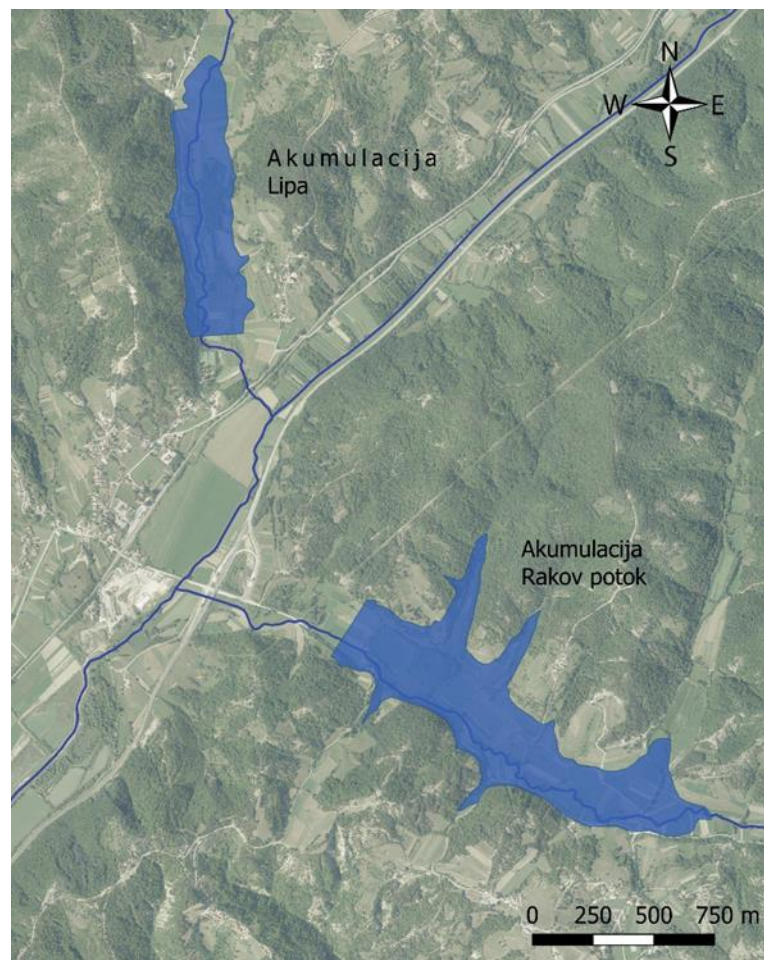
Potporni stup za nosivo čelično uže potrebno je montirati na vrhu žičare od 180 m (parcela na obodu kanjona), a na svim ostalim lokacijama koristiti će se stablo.

Radi se o vrlo obimnom zahvatu koga je potrebno najprije osigurati probno izvlačenje kako bi se potvrdila učinkovitost predloženog rješenja, te provele eventualno potrebne modifikacije kako bi se uspješno uklonio otpad koji prijeti smanjenju kapaciteta poniranja.

5.3.2. Redukcija vodnih valova u slivu Pazinčice

Vodotok Pazinčica i njeni pritoci imaju izraženi bujični karakter, te zbog karaktera pojavnosti njenih velikih voda te ograničenog kapaciteta poniranja Pazinske jame, prisutni su problemi periodičnih poplavlivanja – ponajviše same ponorske zone Pazinčice, ali i dijela dolinskog područja na kome je izgrađen odvodni hidromelioracijski sustav. Najčešća rješenje koja se primjenjuju na sličnim područjima za smanjivanje intenziteta poplavlivanja je izgradnja retencija ili akumulacija u gornjim dijelovima sliva namijenjenima prihvatu i reduciranju vodnog vala.

Prema provedenim analizama u poglavlju 3.5.2, vidljivo je da se samo volumeni poplavlivanja u priponorskoj zoni Pazinčice koji se periodički javljaju iznose u rasponu od nekoliko pa do oko 8 mil. m³, a povijesna poplava s kraja 19. stoljeća je imala vodni val volumena blizu čak 12 mil. m³. To znači da se, obzirom da se pri takvim poplavlivanjima dio voda izgubi u ponorskoj zoni, na samom slivu javljaju i značajnije veći volumeni. Tako je u okviru poglavlja 3.5.2 utvrđeno da je tijekom razdoblja 2001.-2019. prosječna vrijednost volumena najvećeg godišnjeg vodnog vala Pazinčice na profilu Dubravica iznosila oko 3,1 mil. m³, s rasponom pojava između 1,44 i 9,44 mil. m³. Zbog toga se i u slivu Pazinčice razmišljalo o izgradnji višenamjenskih akumulacija s rezerviranim prostorom za prihvata vodnog vala (akumulacije Rakov potok i Lipa), ili pak retencija (Lipa) (Slika 5.3.7).



Slika 5.3.7. Položaj planiranih akumulacija Rakov potok i Lipa u okviru projekta navodnjavanja (prema IGH, 2013)

No ta rješenja, s kojima se je planiralo u akumulacijama Rakov potok i Lipa osigurati prostor za prihvat vodnih valova ukupnog volumena $1,1 + 0,55 = 1,65$ mil. m^3 (IGH, 2013), odnosno varijante samo s retencijom Lipa volumena od $0,23 m^3$ (Elektroprojekt, 2009) nisu dalje razrađivane zbog protivljenja lokalne zajednice izgradnji takvih velikih objekata koji bi potopili značajne poljoprivredne površine u dolini spomenutih pritoka Pazinčice (ukupno oko $0,800 km^2$), a sa samim trupom brane i pratećom infrastrukturom oko ukupno $1 km^2$.

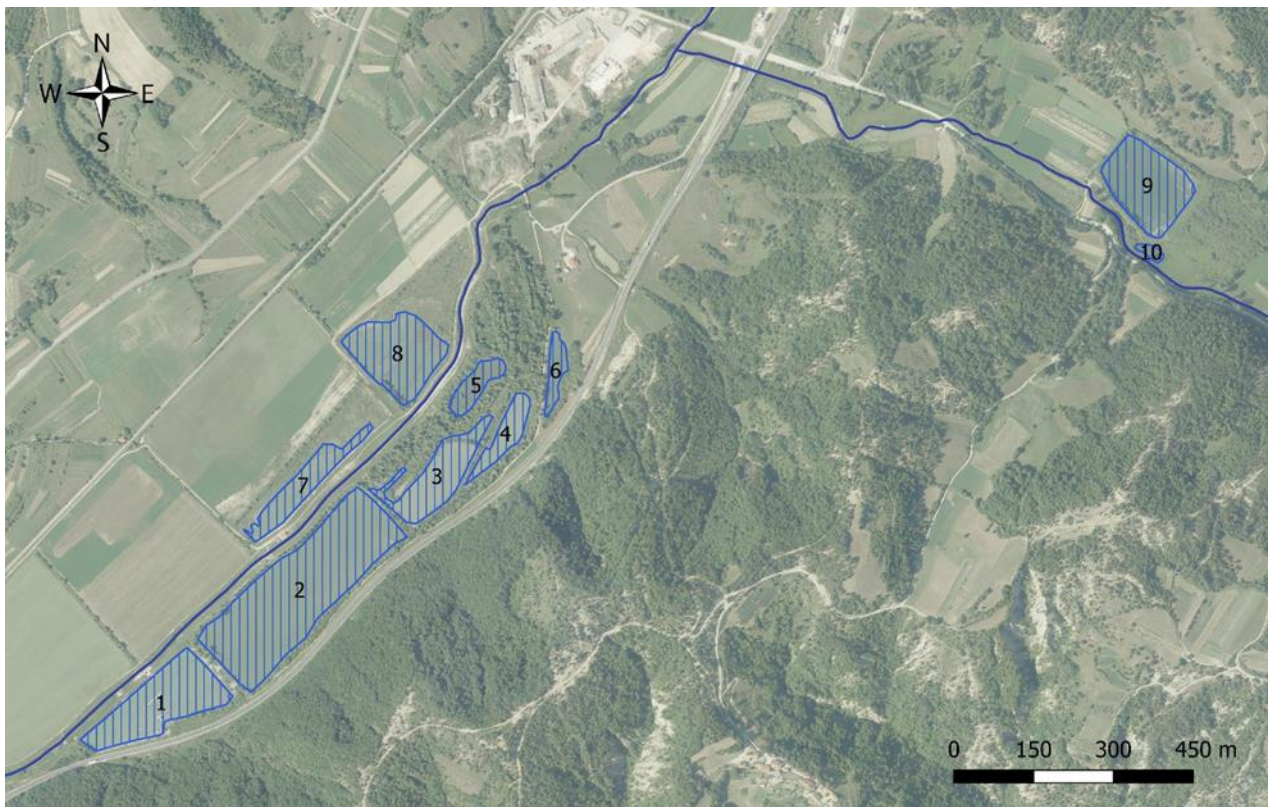
Kao alternativno rješenje, razmišljanja o mogućoj redukciji vodnih valova usmjerena su od strane lokalne zajednice na mogućnost povećanja kapaciteta već postojećih prirodnih akumulacija – bara kod Boruta i Cerovlja, koje se koriste kao ribnjaci. Radi se o ambijentalno vrijednim vodnim pojavama s turističko/ribičkom namjenom, a ponegdje i u funkciji zahvata voda za lokalno navodnjavanje (Slika 5.3.8 i 5.3.9). Prikaz njihovog situacijskog položaja dan je na slikama 5.3.10 i 5.3.11, a njima obuhvaćene površine i procijenjeni volumeni (s pretpostavljenom prosječnom dubinom od 4 m) u Tablici 5.3.1. Iz nje je vidljivo da je ukupna površina tih bara/ribnjaka oko $0,17 km^2$, a s navedenom procjenom dubina ukupni volumen oko $0,7$ mil. m^3 .



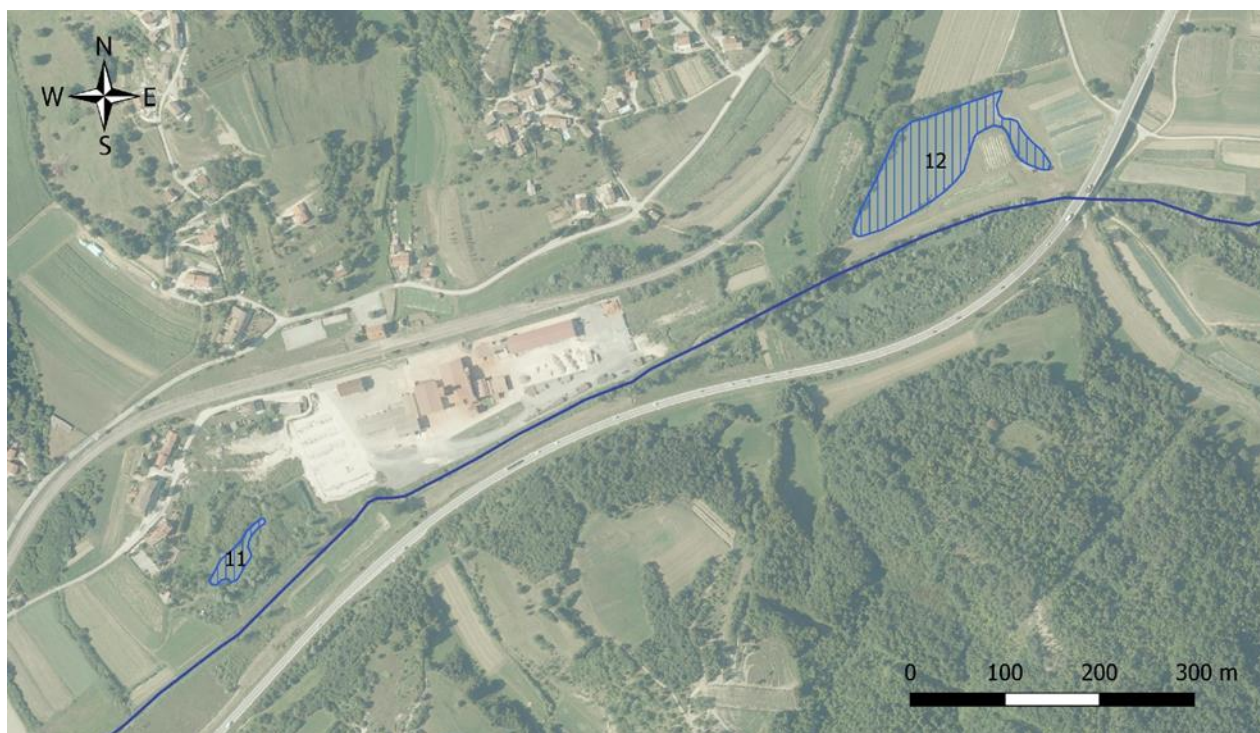
Slika 5.3.8. Bara kod Boruta



Slika 5.3.9. Pazinčica i bara kod Cerovlja



Slika 5.3.10. Bare kod Cerovlja



Slika 5.3.11. Bare kod Boruta

Tablica 5.3.1. Površine i procijenjeni volumeni bara

Oznaka	Srednja dubina (m)	Površina (m ²)	Volumen (m ³)
Bare kod Cerovlja			
1	4	22714	90856
2	4	55514	222056
3	4	14414	57656
4	4	5932	23728
5	4	4920	19680
6	4	3620	14480
7	4	10386	41544
8	4	19987	79948
9	4	19838	79352
10	4	1020	4080
UKUPNO:		158345	633380
Bare kod Boruta			
11	4	1261	5044
12	4	11418	45672
UKUPNO:		12679	50716
UKUPNO ZAJEDNO:		171024	684096

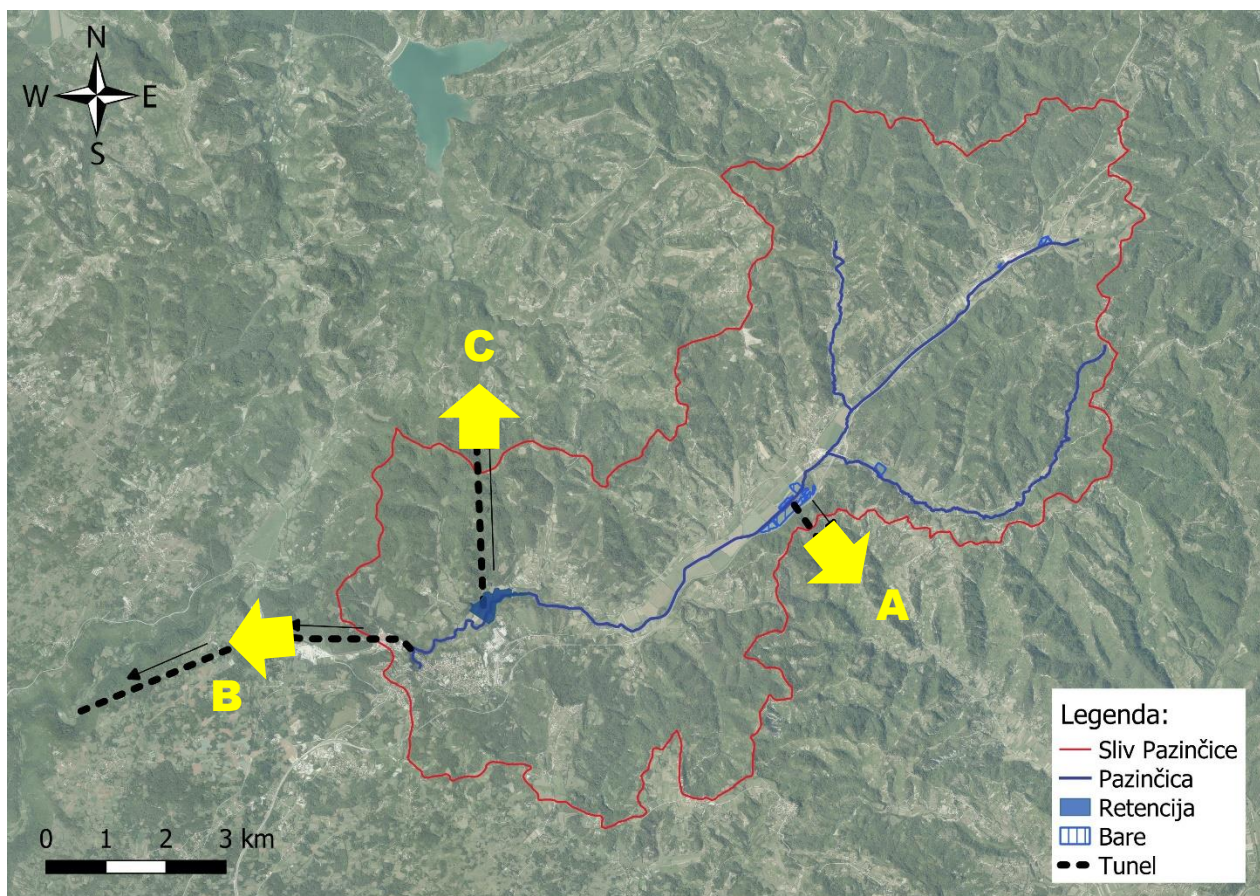
Povećanje volumena tih bara za potrebe zadržavanja i redukcije dijela vodnog vala gravitirajućih vodotoka nije hidrotehnički prikladno iz razloga što većina njih već i u postojećem stanju zapravo zauzimaju položaj u kome se mogu napuniti jedino u situacijama velikih poplavnih voda. Neke od njih imaju vodno lice čak i više od razine vode u vodotoku (Slika 5.3.10). Njihovo produbljivanje i povećanje volumena bi imalo smisla i koristi jedino ukoliko se želi osigurati korištenje njihovih akumuliranih voda za navodnjavanje, jer bi ih se za njihovo korištenje za zadržavanje voda

poplavnog vala moralo uglavnom koristiti crpna postrojenja. Držanje crpkama kontrolirano niskih razina vode u slučaju njihovog produbljivanja utjecalo bi na promjenu razine vodnog lica i smanjenje atraktivnosti njihovih ambijentalnih obilježja. Stoga se može zaključiti da njihovo produbljivanje, ili nadvisivanje izgradnjom nasipa oko njih za potrebe prihvata velikih voda nije tehnički opravdano. No, takvo produbljivanje bi imalo smisla za potrebe osiguranja dodatnih volumena voda za navodnjavanje – ukoliko ne bi smetale naglašenije promjene vodnog lica za postojeće rekreativno korištenje.

Stoga, ako se želi ipak osigurati neki retencijski/akumulacijski kapacitet u slivu Pazinčice, trebalo bi obnoviti ideju o formiranju retencija u njenom slivu i pritocima, s moguće manjim gabaritima – kapacitetima u gornjim dijelovima sliva, što zbog konfiguracije terena znači i manji pozitivan učinak na smanjenje poplavnih voda na nizvodnijim dijelovima sliva. Isto tako, ograničeni manji pozitivni učinci na spljoštenje vodnih valova bi se mogli ostvariti procesima revitalizacije vodotoka i, no za što je potrebno dio poljoprivrednog zemljišta uz korita vodotoka prenamijeniti u površine namijenjene za proširenje korita vodotoka.

5.3.3. Odvodnja dijela velikih voda izvan sliva Pazinčice

Kako sliv i tok Pazinčice zauzima središnji položaj na Istarskom poluotoku, k tome i na hipsonometrijski najvišem dijelu tog položaja, nameće se i potreba promišljanja o mogućem preusmjeravanju dijela njenih voda koje uvjetuju poplavne rizike zbog nedovoljnog kapaciteta ponorske zone prema susjednim slivovima. Naime, na taj način je riješen problem odvodnje velikog broja krških polja u Dinaridima s nedovoljnim kapacitetom ponorske zone. No, s druge strane treba voditi računa da takva preusmjeravanja voda izvan prirodnog sliva može uvjetovati niz ekoloških problema. Neovisno o mogućim ekološkim problemima, kao početni korak u takvim razmatranjima, može se ocijeniti da su hipotetski moguća tri pravca preusmjeravanja dijela voda Pazinčice (Slika 5.3.12). Za sva tri nužna je izgradnja hidrotehničkih tunela radi savladavanja vododjelnica. Radi se o preusmjeravanjima voda u smjeru sliva Raše, odnosno njene pritoke Boruta (smjer A), prema Beramskom potoku (smjer B) te akumulaciji Butoniga (smjer C), a koji će u nastavku biti prodiskutirani.



Slika 5.3.12. Hipotetski mogući pravci usmjeravanja voda iz sliva Pazinčice prema susjednim slivovima

Varijanta A – u smjeru Raše

Radi se o najkraćem smjeru prebacivanja voda Pazinčice. Svega oko 800 m je duljina tunela od lokacije Bara kod Cerovlja s kotom terena oko 270 m n.m. do izlaza u slivu Raše na koti od oko 250 m n.m. ispod zaseoka Risanica (Slika 5.3.13). Radi se o jednoj od pritoka Karbune koja nakon spoja sa Posertom formira rijeku Rašu. No, radi se i o, što se tiče pojava velikih voda, najnepovoljnijoj lokaciji od svih razmatranih – i najuzvodniji dio sliva Raše karakterizira izrazita bujičnost, a korito Karbune vrlo često i samo je ugroženo poplavnim vodama koje prelijevaju iz korita. U cilju njihove redukcije izgrađena je retencija Sepčići koja bi trebala prihvatiti i prebačene vode iz sliva Pazinčice. No, radi se o objektu koji nema dovoljni kapacitet ni za prihvrat vlastitih velikih voda, te je zbog toga razmatrana varijanta A izrazito nepovoljna. Dodatno je nepovoljna i zbog toga što se na ulazu u tunel radi o ravničarskom prostoru na kome nije moguće formirati zahvatnu građevinu bez da se, u slučaju da se želi formirati ulazni retencijski prostor, poplave okolne površine, a u protivnom, bez retencije prebrzo protoku vode Pazinčice mimo tunela.

Što se tiče inženjersko-geoloških uvjeta, planirana trasa tunela prolazi kroz tanko uslojene lapore i pješčenjake fliške serije srednjeeocenske starosti koji su blago položeni do horizontalni. Na užoj lokaciji slojevi su nagnuti prema jugozapadu pod kutom od 10° . Debljina lapora je od 20 do 40 cm dok su vapneni pješčenjaci moćnosti od 15 do 30 cm. Površinski sloj fliške serije karakterističan je po zoni trošenja koja od površine doseže do dubine od 5 do 10 m. U toj zoni stijena sivog lapora

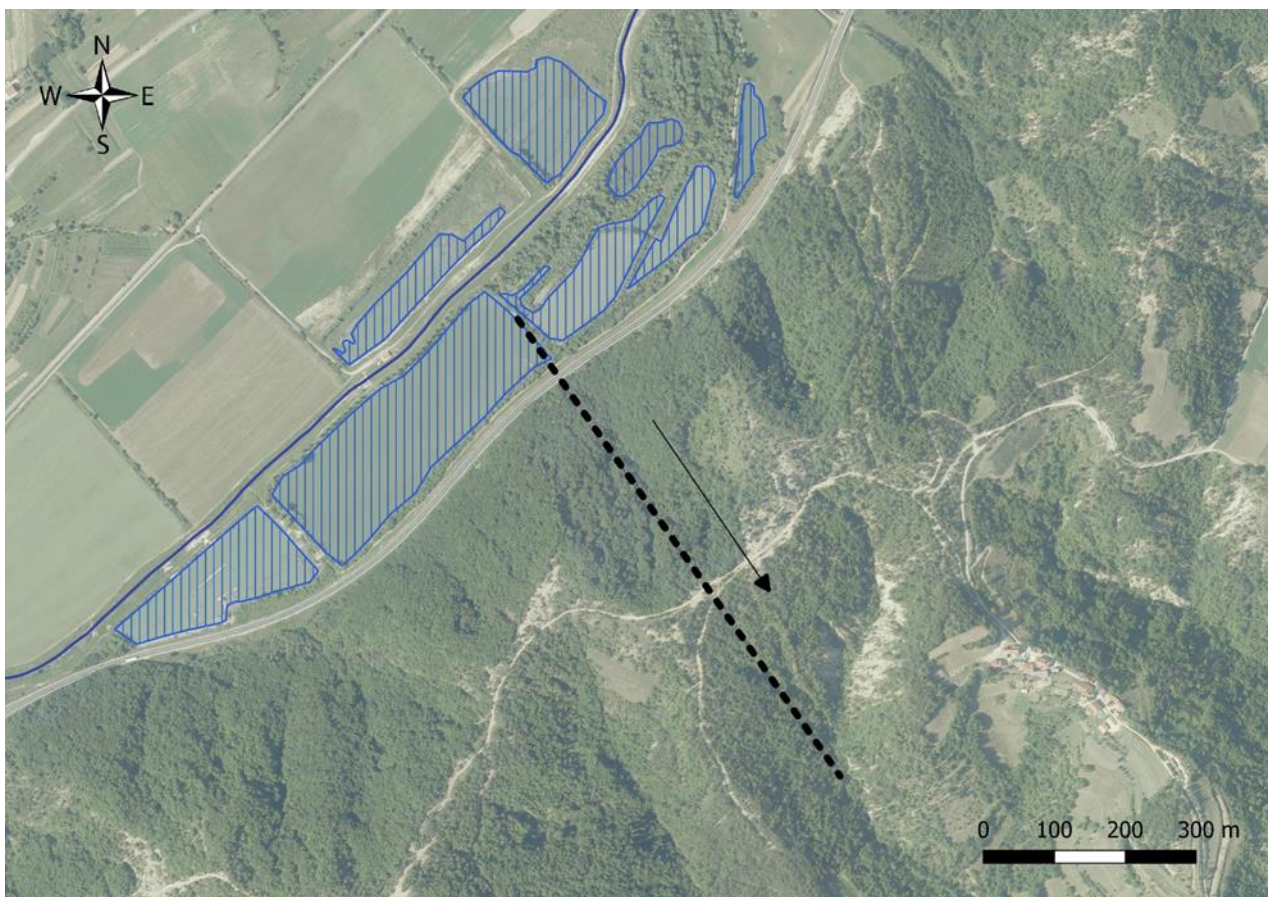
se raspada u smeđu laporovitu glinu u kojoj zaostaju odlomci silicikarbonatnog pješčenjaka karakterističnog ciglastog oblika. Fliška serija je u dubini većoj od 10m kompaktna stijenska masa.

S obzirom na utvrđeno rasprostiranje naslaga na trasi potencijalnog tunela mogu se razlikovati dvije vrste materijala :

- Glinovite naslage u pokrivaču (debljine do 10m) C kategorija iskopa
- Flišna stijenska podloga (do većih dubina) B kategorija iskopa

Na lokaciji varijante A ulaz u tunel nalazi se u iskopenim depresijama koje su nastale korištenjem gline kao mineralne sirovine u nekadašnjoj tvornici „Istarske ciglane Cerovlje“. Dubina depresija je 5 m i one se kontinuirano dopunjuju vodom iz Pazinčice i oborinskom vodom. Neposrednu uz napuštene glinokope prolazi autocesta uz Istarski Ipsilon koja je dodatno opterećenje u rješavanju zahvata probijanja tunela.

Hipotetska alternacija tom rješenju prebacivanja voda Pazinčice u sliv Raše je, ukoliko se formira akumulacija ili retencija Rakov potok uzvodnije, čime bi se, uz višestruko dulji tunel, moglo prikladnije zahvatiti značajnije količine voda.

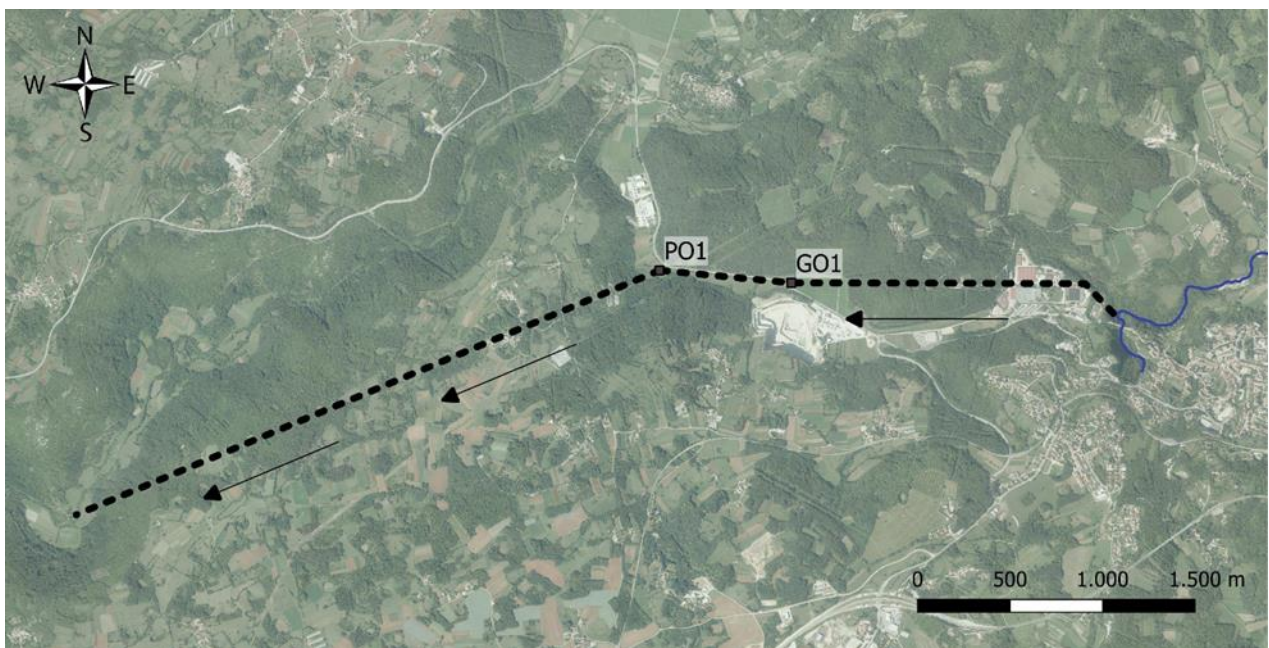


Slika 5.3.13. Varijanta A – potencijalno rješenje odvoda dijela poplavnih voda Pazinčice u sliv Raše

Varijanta B – u smjeru Beramskog potoka

Radi se o također problematičnoj varijanti rješenja prevođenja voda zbog nedovoljne prihvatne moći recipijenta - Beramskog potoka (Slika 5.3.14). On se nastavlja u Limsku dragu koja nema kontinuitet toka zbog denivelacije doline u njenom središnjem dijelu prema Limskom kanalu. Druga je nepovoljnost da bi se ulazni dio u tunel trebao izvesti u neposrednom okruženju Pazinske jame, s kotom ulaza oko 225 m n.m. i kotom izlaza iz tunela na oko 215 m n.m. Radi se o iznimno dugom tunelu, odnosno dva tunela ukupne duljine blizu 6 km, kod kojih postoji mogućnost upuštanja prihvaća voda poslovne zone Podberam. Radi se o prostoru koji se nalazi u prirodnoj depresiji i koji nema riješenu oborinsku odvodnju, a koji je stradao od iznimne poplave u lipnju 2016.g. (Građevinski fakultet u Rijeci, 2021). No, unatoč toga mogućeg pozitivnog učinka, ocjenjuje se da je analizirano hipotetsko rješenje nerealno da bi ga se moglo dalje razmatrati kao moguća alternativa za smanjenje poplavnih rizika u slivu Pazinčice.

Što se tiče inženjersko-geoloških uvjeta, planirana trasa tunela prolazi u cijeloj svojoj dužini kroz vapnence gornjokredne starosti koji su debelo uslojeni. Na površini vapnenci su raspucani s tipičnim pojavama škrapa i ponora nastalih okršavanjem. U većoj dubini vapnenci su kompaktni i cjeloviti. S obzirom na utvrđeno rasprostiranje naslaga na trasi B potencijalnog tunela, vapnenci gornje krede spadaju u stijensku podlogu A kategorije iskopa.



Slika 5.3.14. Varijanta B – potencijalno rješenje odvoda dijela poplavnih voda Pazinčice prema Limskoj Dragi s ucrtanim mjestima mogućih prihvaća oborinskih voda s područja industrijske zone Podberam

Varijanta C – u smjeru akumulacije Butoniga

Radi se o varijanti koja bi mogla imati dvojaki utjecaj na višenamjensku akumulaciju Butoniga – s jedne strane pogoršati mogućnosti prihvata velikih voda vlastitog sliva akumulacije koje već i same predstavljaju problem pri upravljanju akumulacijom, ali s druge strane osigurati prihranjivanje akumulacije vodama koje joj nedostaju za optimalni rad. Naime, zbog daleko većih velikih voda od projektom prognoziranih (Hajduk Černeha i sur., 2007), kao i smanjenih dotoka u odnosu na prognozirane, javljaju se problemi pri upravljanju akumulacijom Butoniga i u situacijama velikih voda, kao i u situacijama dugotrajnih sušnih perioda. Radi osiguranja dodatnih dotoka tijekom kritičnih sušnih perioda, osigurano je dodatno prihranjivanje akumulacije vodama iz izvora Bulaž, a razmatrana je i mogućnost njezinog prihranjivanja iz susjednog ogranka Rečine u slivu rijeke Mirne, također s tunelskim dovodom. Za povećanje volumena prihvata velikih vodnih valova, razmatrana su rješenja regulacije/podizanja praga preljeva, kao i izgradnja predakumulacija na njenim trima glavnim pritokama, te bi stoga trebalo analizirati i mogućnost da predakumulacija na glavnom ogranku Butonigi bude dimenzionirana i za prihvata dijela voda iz Pazinčice.

Vode iz sliva Pazinčice bi se hipotetski mogle tunelom dugim oko 3,4 km dovesti u sliv najvećeg ogranka Butonige, na kotu od oko 220 m n.m. u blizini Grdoga Sela (Slika 5.3.15). Što se tiče inženjersko-geoloških uvjeta, planirana trasa tunela prolazi kroz uslojene lapore, pješčenjake i vapnene breče fliške serije srednjeeocenske starosti koji su blago položeni do horizontalni. Debljina lapora je od 20 do 200 cm dok su pješčenjaci moćnosti od 15 do 30 cm. Vapneni bi klastiti s numulitima mogu biti debljine do 5 m.

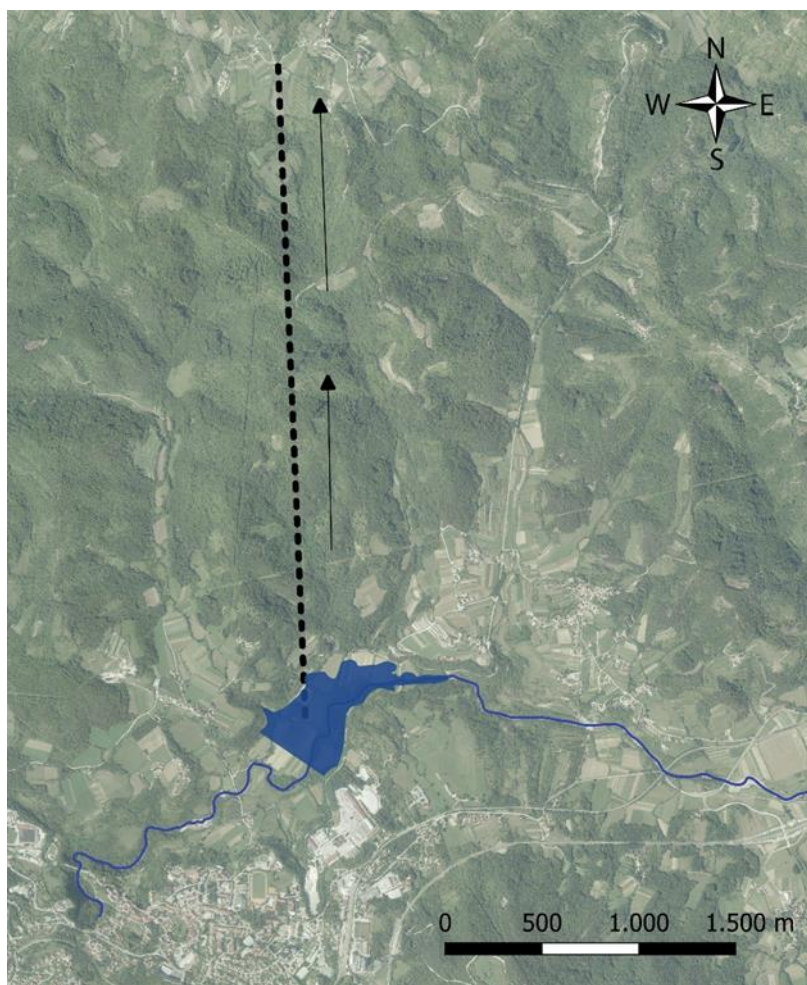
Površinski sloj fliške serije karakterističan je po zoni trošenja koja od površine doseže do dubine od 5 do 10 m. U toj zoni stijena sivog lapora se raspada u smeđu laporovitu glinu u kojoj zaostaju odlomci silicikarbonatnog pješčenjaka karakterističnog ciglastog oblika. Fliška serija je u dubini većoj od 10m kompaktna stijenska masa.

S obzirom na utvrđeno rasprostiranje naslaga na trasi potencijalnog tunela mogu se razlikovati tri vrste materijala:

- | | |
|---|---------------------|
| - Glinovite naslage u pokrivaču (debljine do 10m) | C kategorija iskopa |
| - Flišna stijenska podloga lapori i pješčenjaci (do većih dubina) | B kategorija iskopa |
| - Vapneni bioklastiti-numulitne breče (debljine do 5m) | A kategorija iskopa |

Ulaz u tunnel bi bio na koti od oko 230 m n.m., s time da bi se za optimalno prihvaćanje voda na ulaznom dijelu predponorske zone Pazinčice mogla formirati retencija površine oko 0,33 km² te volumena oko 1,4 mil. m³ pri koti od 235 m n.m. Formiranje retencije takvog volumena iziskivala bi i premještanje ili nadvisivanje nekih sadržaja na utjecajnom prostoru (prometnica, most), ali bi osiguravala zaplavni prostor za redukciju vodnog vala, prihvata nanosa i naplavina s gornjeg dijela sliva Pazinčice, te kontrolirani dotok vode ka akumulaciji Butoniga.

Za takvo prebacivanje voda iz sliva Pazinčice trebalo bi razmotriti pitanja kakvoće voda Pazinčice za njeno miješanje s vodama Butonige. No, i sam je sliv i tok Pazinčice obuhvaćen zonama sanitarne zaštite izvorišta u dolini rijeke Raše, tako da već postoji stanoviti režim zaštite voda. S druge strane, oduzimanje dijela voda Pazinčice bi moglo smanjiti prihranjivanje krškog vodonosnika središnje Istre iz koga se napajaju i izvor Rakonek koji je uključen u vodoopskrbni sustav, kao i rezervno vodocrpilište Sv. Anton.



Slika 5.3.15. Varijanta C – potencijalno rješenje odvoda dijela poplavnih voda Pazinčice u sliv akumulacije Butoniga

Sasvim je sigurno da bi izgradnja sustava za prebacivanje voda iz sliva Pazinčice iziskivala ne samo mnogo sredstava, nego i prethodnih sagledavanja svih mogućih povoljnih i nepovoljnih utjecaja. Izvedba hidrotehničkih tunela tako velikih duljina je iznimno zahtjevna, no u situacijama očekivanog nastavka utjecaja negativnih posljedica klimatskih promjena, trebati će na nekim lokalitetima planirati i zahtjevnija rješenja. No, valja spomenuti i da je pred gotovo stotinu godina, dakle na tehnički puno primitivniji način, izveden hidrotehnički tunel između Čepić polja i Plominskog zaljeva, dug čak 4,5 km, s kojim je isušeno Čepićko jezero. No, naravno treba postojati i puno opravdanje za izgradnju sličnih sustava za prebacivanje voda iz jednog u drugi sliv, kao i voditi računa o ekološkim posljedicama takvih zahvata kako se ne bi dogodile neželjene promjene u ekosustavima vezanim uz spomenute vodotoke, kao i podzemlju koje se prihranjuje vodama Pazinčice.

5.3.4. Prilagodba velikim vodama s unaprjeđivanjem metoda ranog uzbunjivanja

Suvremeni koncepti zaštite od poplavnih šteta u velikoj se mjeri zasnivaju na konceptu prilagodbe velikim vodama i njima izazvanim poplavama. One uključuju u velikoj mjeri nestrukturalna – upravljačka rješenja koja idu za tim da se smanje poplavne štete te pogotovo zaštite ljudski životi.

Kako su okolnosti vezane uz vodni režim Pazinčice i njezinu regulaciju otjecanja izrazito nepovoljne za relativno brzo osiguranje nekih prikladnih strukturalnih rješenja, sasvim je sigurno da se neovisno o njima mora unaprijediti sustav upravljanja kako bi se osigurala prilagodba poplavama i minimalizacija negativnih posljedica njihove pojave. Bujični karakter Pazinčice s učestalim pojavama velikih voda nije moguće bitnije promijeniti bez izgradnje akumulacija ili retencija značajnijeg volumena, pogotovo u uvjetima očekivanog povećanja pojava velikih voda u budućnosti uslijed prisustva negativnih učinaka klimatskih promjena. Kapacitet poniranja Pazinske jame je također ograničavajući faktor učinkovite zaštite od velikih voda.

Zbog toga je potrebno unaprijediti postojeći sustav monitoringa (telemetrijska dojava razina vode na kritičnim točkama tok Pazinčice) na način da se on poveže s isto takvim telemetrijskim monitoringom meteoroloških prilika (oborine i temperature u slivu sa stacionarnih postaja) te meteorološkim radarom. Osim monitoringa, potrebno je razviti model prognoziranja hidroloških prilika (dotoka i značajki gubitaka u ponorskoj zoni) na Pazinčici ovisno o klimatskim prilikama – kako mjerenim, tako i prognoziranim kako bi se dobilo više vremena za pripremu odziva na upozorenje o mogućim pojavama velikih voda koje mogu izazvati poplavne štete. Taj je model potrebno automatizirati i povezati sa sustavom dojava ugroženog stanovništva.

Ne manje važno je i minimalizacija poplavnih šteta primjerenim prostornim planiranjem, i osiguranjem da se u zone plavljenja ne dopusti izgradnja sadržaja koji bi mogli pretrpjeti značajnije štete, ili pak izazvati takve štete svojim poplavljenim sadržajima. Isto tako, nužno je prostorno-planskom dokumentacijom planirati i osigurati i prostore za buduće hidrotehničke zahvate u slivu Pazinčice i utjecajnom prostoru, a te je zahvate potrebno prije toga isprojektirati barem na razini idejnih rješenja.

6. ZAKLJUČAK I PRIJEDLOZI

Pazinčica je vodotok središnje Istre s izrazito naglašenim osobitostima i vrijednostima. Prije svega to je ponor Pazinčice i njegova predponorska zona sa slapovima Zarečki i Pazinski krov, ali i niz drugih lokaliteta u njenom slivu i uzduž njenog toka koji imaju i statuse zaštićenog područja po nekoliko kriterija – kao značajan krajobraz, Natura 2000 te ekološke mreže.

Radi se o ponornici čije površinske vode imaju velik utjecaj na dinamiku kolebanja i istjecanja podzemnih voda, pa tako i na izvorišta od kojih su neka uključena u vodoopskrbni sustav (Rakonek kao glavni izvor vodoopskrbnog sustava Vodovoda Pula te Sv. Anton kao rezervno izvorište Vodovoda Labin).

To je područje na kojem je i prije provedbe istraživanja za potrebe izrade predmetnog dokumenta postojao monitoring hidroloških prilika i značajan broj saznanja vezanih uz vodnu problematiku, njene probleme i moguća rješenja, na pojedinim dijelovima njenog toka. No, nedostalo je cjelovito sagledavanje i razmatranje budućeg razvoja i zaštite tog prostora. Stoga je na temelju Projektnog zadatka za izradu Plana očuvanja i valorizacije područja sliva Pazinčice (Bieco, 2016), prihvaćenog od strane Grada Pazina odlukom njegovog Gradskog vijeća (S Službene novine Grada Pazina i Općina Cerovlje, Gračišće, Karojba, Lupoglav, Motovun i Sveti Petar u Šumi 30/2016), kao i Općine Cerovlje odlukom njenog Općinskog vijeća (Službene novine Grada Pazina i Općina Cerovlje, Gračišće, Karojba, Lupoglav, Motovun i Sveti Petar u Šumi 36/2016) od strane Hrvatskih voda pokrenuta realizacija točaka 3.1 te 3.6 toga zadatka. Predmetni dokument „Istraživanje dinamike protjecanja voda u slivu Pazinčice i s njime povezanim vodnim resursima krškog vodonosnika središnje Istre te mogućih promjena, utjecaja i rješenja opskrbe vodom, zaštite od poplava i zaštite akvatičkih ekosustava" sadržava rezultate hidroloških, hidrogeoloških i speleoloških istraživanja temeljenih na postojećim hidrološkim, hidrogeološkim i speleološkim saznanjima i podacima postojećeg monitoringa DHMZ-a i Hrvatskih voda. Također u sklopu projekta proveden je i dopunski monitoring, uspostavljen na karakterističnim profilima površinske hidrografske mreže, odabranim izvorima, a i po prvi puta i u speleološkim objektima – Pazinskoj jami, te jamama Bregi i Kobiljak.

Za neposredni sliv Pazinčice ukupne površine 77,37 km², ocijenjeno je da je za referentno 30-godišnje razdoblje (1961.-1990.) prije neposrednih manifestacija klimatskih promjena, uz srednju godišnju količinu oborina od 1.239 mm te srednju godišnju temperaturu zraka od 11,2 °C, srednji godišnji protok iznosio 1,22 (m³s⁻¹). Na središnjoj klimatološkoj postaji Pazin tijekom razdoblja 1949.-2018. utvrđen je naglašen trend porasta temperature zraka od 0,19 °C/10 godina, kao i praktički stagnirajući trend opadanja oborina od 1,7 mm/10 godina, ali uz sve izraženije varijacije pojava vodnih i sušnih godina. Na temelju provedenih klimatskih modeliranja do 2070.g., odnosno za dio modela do kraja ovog stoljeća, prema dvama klimatskim scenarijima RCP4.5 i RCP8.5, nastavak pa i intenziviranje takvih trendova se očekuje i u budućnosti. Linearni trendovi prema ukupno deset KNMI-RACMO22E i DHMZ-RegCM4 simulacija za vremensko razdoblje od 1971. do 2070. (do 2005. uz pretpostavku izmjerenih koncentracija stakleničkih plinova, od 2006. uz pretpostavku scenarija RCP8.5) ukazuju na statistički značajno zagrijavanja na srednjoj godišnjoj razini od 0,28 °C / 10 godina do 0,43 °C / 10 godina. Prema istim simulacijama očekuje se porast godišnjih količina oborine (od 3,0 mm / 10 godina do 33,0 mm / 10 godina) no s bitno manjom pouzdanošću u odnosu na temperaturu zraka.

Sve te dosadašnje, kao i očekivane buduće promjene imaju utjecaja na protoke. Na za sliv Pazičice repornoj hidrološkoj postaji Dubravica za razdoblje 1972.-2018. uz srednji godišnji protok od $0,805 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (te prosječni minimalni godišnji protok od $0,004 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ i prosječni maksimalni godišnji protok od $32 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), utvrđen je trend opadanja srednjih godišnjih protoka od $0,025 \text{ m}^3\text{s}^{-1}/10$ god (kao minimalnih od $0,0002 \text{ m}^3\text{s}^{-1}/10$ god), te trend porasta maksimalnih godišnjih protoka od $1,04 \text{ m}^3\text{s}^{-1}/10$ god. I u tom slučaju očekuje se nastavak pa i njihovo intenziviranje u budućnosti, kako kod voda u slivu Pazinčice, tako i voda na izvorištu Rakonek.

Sve to skupa utječe, a u budućnosti utjecati će i naglašenije na raspodjelu i raspoloživost voda Pazinčice i s njom vezanih izvorišta, kao i na pojave velikih voda. Utvrđeno je da se u odnosu na referentno 30-godišnje povijesno razdoblje (1971.-2000.), očekuje smanjenje srednjih godišnjih protoka Pazinčice na postaji Dubravica za oko 16% (razdoblje 2011.-2040.), dok su očekivane negativne promjene za daljnje 30-godišnje razdoblje (2041.-2070.) još drastičnije jer se, ovisno o modelu i scenariju, očekuje njihovo smanjenje i do 39%. Rezultati modela MOD3 (KNMI) koji za razliku od DHMZ-ovih modela ima mogućnost prognoziranja i do kraja 21. stoljeća, pokazuju da bi se, ako se ostvari pesimističan scenarij ublažavanja klimatskih promjena (RCP 8.5), srednji godišnji protoci mogli smanjiti za oko 20%, dok bi u slučaju ostvarenja scenarija RCP 4.5 one mogle zadržati na postojećim količinama.

No, svi modeli pokazuju da se u budućnosti mogu očekivati i puno naglašenije sušne prilike od zabilježenih u povijesti, i to u rasponu između 27% i čak 93% manje vrijednosti minimalnih godišnjih protoka za ekstremno sušnu godinu. Isto tako, većina modela daje moguće povećanje maksimalnih vrijednosti godišnjih protoka do čak dvostruko većih godišnjih protoka od do sada zabilježenih. To ukazuje na rizik od pojava dugotrajnijih naglašenijih vodnih prilika koje mogu izazvati dodatne probleme s evakuacijom velikih voda u Pazinskoj jami koja ima ograničeni kapacitet.

I kod izvora Rakonek se u budućnosti također očekuju negativne promjene njegove vodne bilance s prognozama smanjenja protoka tijekom razdoblja 2011.-2040. u rasponu između 3 i 14%, a za razdoblje 2041.-2070. i do 29%. Rezultati modela MOD3 (KNMI) koji ima mogućnost prognoziranja i do kraja 21. stoljeća, pokazuju da bi se do kraja ovoga stoljeća (2071.-2000.), srednji godišnji protoci mogli smanjiti do oko 9%. Svi modeli također pokazuju da se mogu očekivati i puno naglašenije sušne prilike od zabilježenih u povijesti, i to u rasponu do čak 88% smanjenja za ekstremno sušnu godinu. Što se pak tiče pojava iznimno vodnih godina, dio modela pokazuje moguće smanjenje maksimalnih godišnjih protoka u takvim iznimno vodnim godinama u rasponu do 23%.

Koncentracije suspendiranog nanosa i ukupan pronos u vodama Pazinčice uzvodno od Dubravice imaju trend opadanja, a mutnoća na izvoru Rakonek trend porasta. Razlog tome disparitetu je, osim u različitim duljinama nizova, i u mehanizmu zamućenja voda u vodonosniku krških izvora, gdje s pojavama velikih voda nakon naglašenijih sušnih razdoblja dolazi do porasta brzina protjecanja i pokretanja ranije istaloženih čestica nanosa. U danom dokumentu izrađen je prognostički model za predviđanje pojava mutnoća na tom izvoru.

U danom dokumentu provedene su i detaljne analize pojava velikih voda u slivu Pazinčice kako na temelju zabilježenih podataka s hidrološke postaje Dubravica, tako i analizom oborinskih podataka i modeliranjem otjecanja. Te su analize provedene za velik broj profila uzduž toka Pazinčice, a za reporni profil Dubravica napravljene su i projekcije mogućih promjena maksimalnih

protoka u budućnosti. Utvrđeno je da se mogu očekivati vrlo značajne promjene pri čemu raspon mogućih promjena maksimalnih protoka 20-godišnjeg povratnog perioda kreće se od povećanja od oko 16% za cjelokupni sliv Pazinčice pa do dvostruko više kod manjih podslivova u scenariju mogućih prosječnih promjena intenziteta oborina. Kod manje vjerojatnog scenarija maksimalnih mogućih promjena intenziteta kratkotrajnih jakih oborina, iskazane promjene u odnosu na postojeće stanje su još naglašenije i kreću se između čak oko 40%-tak kod cjelokupnog sliva Pazinčice, pa i preko 100% kod manjih podslivova. No, i scenarij mogućih promjena u slučaju prosječnih promjena intenziteta oborina daje vrlo upozoravajuće projekcije, jer i prognozirano povećanje maksimalnih protoka od „samo“ 16% kod 20-godišnjeg povratnog perioda te 20,7% kod 100-godišnjeg za cjelokupni sliv Pazinčice ukazuje na daljnje moguće pogoršanje hidroloških prilika u njenim poplavnim zonama. Posebno se to odnosi na poplavnu zonu vezano uz njen ponor zbog njegovog ograničenog kapaciteta poniranja i značajnih poplavnih šteta već i u postojećim uvjetima.

Stoga je važan naglasak u danom dokumentu dan analizama dosadašnjih pojava velikih voda u slivu Pazinčice i ocjenama kapaciteta ponora Pazinčice za njihov prihvata. Do izrade predmetnog dokumenta jedina informacija o procjeni uzroka poplavlivanja i njenog kapaciteta poniranja je dana u knjizi Feresinijeve (2012), temeljena na informacijama vezanim uz razdoblje prije 2. svjetskog rata. U njoj se navodi da do poplavlivanja unutrašnjih dijelova jame, a koje se onda proteže i na vanjski najnižvodniji dio toka Pazinčice, dolazi zbog nedovoljnog kapaciteta sifona, te da se poplavlivanje javlja kod protoka većih od $35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. To je značajnije više nego li je utvrđeno u okviru predmetnog dokumenta u situacijama pojava velikih voda tijekom 2018. i 2019. godine kad je utvrđeno da se poplavlivanje Pazinske jame javlja već pri protocima na Dubravici većim od $16 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, odnosno oko $20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, ukoliko se uključi i doprinos nižvodnijeg dijela sliva.

No, provedenim detaljnijim analizama kapaciteta poniranja, utvrđeno je da se on tijekom poplavne epizode mijenja u vidu petlje, u nekim situacijama čak od 0 (u nekim fazama bliskim početnom dijelu trajanja poplavlivanja), pa do čak oko $40 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Uzlazna grana protočne krivulje kapaciteta ponora Pazinčice ima trend porasta do razina 175 -185 m n.m., nakon čega slijedi pad – s porastom razine vode kapacitet se smanjuje što je posljedica vremenske komponente procesa protjecanja vode kroz ponorski dio. S porastom količine voda koja otječe u ponorsku zonu povećavaju se i razine podzemnih voda unutar speleosustava Pazinske jame te se smanjuje mogućnost prihvata voda iz nadzemnog dijela/pred ponorske zone Pazinčice. Nakon nekog vremena i postizanja maksimalnih razina vode u predponorskoj zoni, javlja se obrat situacije i počinje se sustav ponašati na uobičajen način za neusporena pražnjenja – pri većim razinama kapaciteti poniranja su veći, pa je tako maksimalni kapacitet poniranja proračunat s količinom od $39,2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, što je praktički dvostruko više od maksimalnog kapaciteta u uvjetima trajanja podizanja nivograma.

To je moguće povezati sa stanjem podzemnih voda u dijelu speleosustava Pazinčice nizvodno od sifona, kao i s mehanizmom djelovanja samoga sifona i njegovog naglog pojačanog aktiviranja u uvjetima viših razina vode u predponorskoj zoni u situacijama smanjivanja uspora podzemnih voda u tim dubljim dijelovima jamskog speleosustava. Za razliku od Pazinske jame, u kojoj su dinamika podizanja razina i spuštanja približno jednake (kod najviših razina vode), u jamama Kobiljak i Bregi, spuštanje razine vode traje nekoliko puta dulje nego li punjenje jame. Slično je i u Pazinskoj jami u uvjetima prethodno relativno nižih razina vode.

Još je Malez (1968) primijetio da na kapacitet poniranja Pazinske jame vjerojatni utjecaj imaju i znatne količine naplavljenog raznog sedimentnog materijala, prije svega naplavljenih trupaca u Martelovom jezeru unutar Pazinske jame i sifonu. Ocijenjeno je da na pojavu učestalih plavljenja prilaznog kanjona i podzemlja i smanjenja kapaciteta protočnosti znatno utječe drveće koje je zadnjih 70-tak godina u predponorskoj zoni izraslo do impozantnih dimenzija. Sve je učestalije njegovo padanje i pojava klizišta što za krajnju posljedicu ima vodom potpomognuto kretanje drvene mase prema ponornoj zoni i podzemnom jezeru. U podzemlju se ta drvena masa ne raspada ili proces traje iznimno sporo, a uslijed saturacije vodom biva taložena na dno jezera ili vodenim strujama usisana dalje u podzemlje kroz sifon u Martelovom jezeru. Speleoronilačkim istraživanjima utvrđeno je da su tri manja otvora, kojima je nekad otjecala voda, neprolazna i začepljena drvnom masom, sedimentom i otpadom, dok su u sifonu potopljenog kanala uočeni pojedinačni zaglavljivi trupci. Zabrinjavajuća činjenica je da svake godine voda donosi nove količine drvene mase koja završi u podzemlju, te postoji pretpostavka mogućnosti da se vremenom začepi čak i trenutno jedini prohodni podvodni kanal.

Stoga je u okviru predmetnog dokumenta, na temelju speleološke prospekcije, dana procjena količine tako naplavljenog materijala od oko 3.000 m³. Utvrđeno je da se debljina nanosa postepeno povećava od sredine jezera, u kojem iznosi 0,5 – 1 m, do završnog dijela jezera, u dijelu gdje se nalazi sifon i u tom dijelu iznosi preko 10 m debljine. Otpadni materijal čine drveni trupci koji slobodno plutaju po površini podzemnog jezera, neorganski antropogeni otpad koji pluta po površini jezera te zbijeni kompaktni organski materijal ispod površine jezera. Dan je i prijedlog tehnologije uklanjanja toga materijala.

No, analizirana su i neka druga rješenja povećanja kapaciteta odvoda iz Pazinske jame, kao i redukcija količina voda koje dotječu pri pojavama vodnog vala. To se odnosi na njihovo zadržavanje ili preusmjeravanje izvan sliva Pazinčice prema okolnim slivovima, kao i prilagodba velikim vodama s daljnjim razvojem vodnogospodarskog upravljanja i unaprjeđivanja metoda ranog uzbunjivanja, kao i drugim nestrukturalnim rješenjima. Razmatrano je i korištenje voda u slivu Pazinčice te osiguranja ekološki prihvatljivog protoka kao jedne od vrlo važnih mjera za očuvanje kakvoće voda i s njom vezanih ekosustava.

Problematika vezana uz analizu stanja i mogućih mjera za osiguranje kakvoće voda nije bila predmet obrada u danoj studiji, već bi se trebala rješavati u sklopu realizacije posebne točke Projektnog zadatka za izradu Plana očuvanja i valorizacije područja sliva Pazinčice (Bićo, 2016). No, s obzirom na važnost problema i povezanost i s predmetnim dijelom koji je vezan uz analizu kapaciteta Pazinskog ponora, na temelju speleoloških prospekcija preporuča se formiranje međuinstitucionalnog radnog tima stručnjaka koji bi na inicijativu Grada Pazina u procesu osigurao i njihovo aktivno sudjelovanje kroz uspostavu sustava prevencije i zaštite kroz saniranje posljedica, uklanjanje otpada, uklanjanje srušenih stabala, sanitarnu sječu te kontinuirani nadzor kritičnog područja. U taj proces bi valjalo uključiti predstavnike svih sektora, dionike iz lokalne zajednice, znanstvenike i nadležne ustanove te osigurati uspostavu stalne suradnje u smislu razmjene informacija i koordinacije aktivnosti u okviru nadležnosti.

Predlažu se i neke konkretne mjere unaprjeđenja monitoringa. U tom smislu vezano uz speleološke aktivnosti, radi procjene kapaciteta prostora za otjecanja vode iza sifona, potrebno je provesti dodatna speleološka i speleoronilačka istraživanja, te izraditi topografski nacrt novih

prostora te utvrdilo što se dešava u nastavku podzemnih kanala. Predlaže se i ponovna uspostava monitoringa dinamike kolebanja razina, temperatura i električne vodljivosti podzemnih voda u speleosustavu Pazinske jame, kao i jama Kobiljak i Bregi.

Taj je sustav monitoringa podzemnih voda potrebno proširiti i na područje istočno od Pazinske jame, na prostoru koji se pruža od Pazina prema zapadnoj obali Istre. Tu je najizrazitija morfološka struktura korito Beramskog potoka koje se, duboko usječena u zapadno-istarsku antiklinalu, pruža prema Limskoj Dragi. Beramski potok, odnosno Tinjanska Draga kako se naziva nizvodno od Beramskog polja, nema kontinuitet toka do same zapadne obale Istre, već mu se voda gubi u ponorima uzduž njegova toka nizvodno od Beramske vale čija denivelacija u odnosu na okolno područje, pruža prikladnu mogućnost izvedbe piezometarskih bušotina s relativno manjim dubinama bušenja, a u svrhu praćenja i analize dinamike kolebanja podzemnih voda na utjecajnom prostoru.

U sklopu programa Opažanja razine podzemne vode na prostoru zapadne i južne Istre u tijeku 2001. godine (GEO-5, 2002), izvedena je 1999. godine piezometarska bušotina BŠ-B8 (Vijadukt), na koti od 75 m n.m. s dubinom bušenja 127 m, na kojoj su kratkotrajno praćena kolebanja razina podzemnih voda. Tijekom 2016. g. od strane GEO-5 iz Rovinja izvedena je još jedna uzvodnije locirana bušotina, u dolini Tinjanske Drage, između Sv. Petra u Šumi i Kringe, s nadmorskom visinom od 175 m n.m., te dubinom bušenja od 220 m.

Obje ove bušotine, s obzirom da se iz njih ne provodi eksploatacija podzemnih voda, vrlo su interesantne za provedbu monitoringa podzemnih voda te se predlaže njihovo uključanje u sustav monitoringa koji se provodi u sklopu predmetnog zadatka, kako bi se utvrdili gradijenti podzemnih voda iz središnjeg dijela istarskog poluotoka gdje svoj tok u ponorskoj zoni završava Pazinčica. Po svakoj piezometarskoj bušotini je zbog amplitude kolebanja razina vode nužno uspostaviti i dvije mjerne sonde u istoj bušotini.

Također je svakako nužno nastaviti s praćenjem i analiziranjem kapaciteta ponorske zone Pazinčice kako bi se rezultati utvrđeni tijekom 2018. i 2019.g. provjerili u situacijama daljnjeg prirasta količine naplavina, kao i po njegovu djelomičnom ili potpunom uklanjanju što se predlaže kao jedna od najprioritetnijih aktivnosti. Predlaže se i realizacija i drugih predloženih aktivnosti na utvrđivanju mogućih rješenja evakuacije velikih voda Pazinčice (ili njihovom konačnom odbacivanju na temelju izrade idejnih rješenja), pri čemu je moguće najinteresantnija varijanta za takva razmatranja ispitivanje mogućnosti prebacivanja dijela voda Pazinčice u sliv akumulacije Butoniga radi istovremenog osiguranja i njenog prihranjivanja.

Predlaže se i aktiviranje realizacije i ostalih dijelova Projektnog zadatka za izradu Plana očuvanja i valorizacije Pazinčice kako bi se ostvarila vizija lokalnog stanovništva i drugih ljubitelja Pazinčice za primjerenu zaštitu njenog osebujnog površinskog i podzemnog toka te njezina valorizacija.

7. LITERATURA

- Babić, Ž. Cukor, V. , Fritz, F., Raljević, B. (1968): Prilog poznavanju hidrogeoloških odnosa Južne i Srednje Istre. Geološki vjesnik 21, 389-395.
- Bieco (2016): Projektni zadatak za izradu plana očuvanja i valorizacije područja sliva Pazinčice (Schalabi, M., Rubinić, J., Sladonja, B., Novković, N., Brana, S., Gojtanić, J., Miletić, M.), Rijeka (Službene novine Grada Pazina i Općina Cerovlje...30/2016, 36/2016)
- Biondić, B., Kapelj, S. i Kuhta, M. (1999): Vodnogospodarska osnova Republike Hrvatske – GIS Istre. Arhiv Hrvatskih voda, Zagreb
- Biondić, R., Biondić, B. i Meaški, H. (2011): Dolina Raše – analiza dosadašnjih istraživanja sa prijedlogom zahvata.- Arhiv Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Varaždin.
- Biondić, R., Biondić, B., Rubinić, J., Meaški, H., Kapelj, S., i Tepeš, P. (2009): Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda na krškom području u Republici Hrvatskoj.- Arhiv Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Varaždin.
- Biondić, R., Rubinić, J., Biondić, B., Meaški, H. i Radišić, M. (2016): Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području krša u Hrvatskoj.- Arhiv Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Varaždin.
- Bonacci, O. (2003): Ekohidrologija vodnih resursa i otvorenih korita. Građ.-arh. fakultet Split / IGH Zagreb, 487 str.
- Bonacci, O. i Roglić, S. (1985): Hidrološki proračun osnovne kanalske mreže za površinsku odvodnju, Priručniku za hidrotehničke melioracije, I kolo, Knjiga 3, 63-88
- Bonacci, O., Roje-Bonacci, T. (1997a): Hidrološki vid određivanja biološkog minimuma rijeke Žrnovnice. Hrvatske vode 5/19, 161-174.
- Bonacci, O., Roje-Bonacci, T. (1997b): Hidrološki vid određivanja minimuma rijeke Jadro. Hrvatske vode 5/21, 339-349.
- Bossard, M., Feranec, J., Otahel, J. (2000): CORINE land cover technical guide – Addendum 2000. EEA Technical report No. 40. (<https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/tech40add.pdf>)
- Božićević, S. (1995): Postaja D-6: Pazinska jama. Vodič ekskurzije 1. Hrvatskog geološkog kongresa 18.-21.10.1995. (ur. Vlahović, I., Velić, I.), Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 177-182.
- Božićević, S. (2005): Pazinska jama, u: Istarska enciklopedija, (ur. Bertoša, S. i Matijašić, R.), Zagreb : Leksikografski zavod Miroslav Krleža
- Buzjak, N. (2018): Posjet nakon incidenta u Pazinskoj jami (<https://www.speleo.hr/posjet-nakon-incidenta-u-pazinskoj-jami/>)
- Coles, S., 2001: An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer, 208 str.
- Cunge, J. A. (1969): On the subject of a flood propagation computation method (Muskingum method). J. Hydraul. Res., 7(2) 205-230.

- Ćuk, M., Subotić, Č. i Runarić, D. (1983): Kaptažni zahvat vrela Sv. Antun u dolini rijeke Raše, Geomehanički istražni radovi – Geotehnika, Zagreb
- Dešković, I. (1968): Ekspertiza o bojenju ponora rječice Fojbe kod Pazina. Arhiv Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
- DHMZ (2002): Meteorološka podloga za vodnogospodarsku osnovu Hrvatske (Voditelj zadatka: Gajić-Čapka, M.), Zagreb. Fond stručne dokumentacije.
- Elektroprojekt (2000): Sektorska obrada i podloge za Vodnogospodarsku osnovu Hrvatske, Ekološki prihvatljiv protok – Metodologija (nositelji zadatka: Mišetić, S., Pavlin, Ž.). Zagreb, nepubl.
- Elektroprojekt (2009): Retencija Lipa – Idejni projekt – Građevinski. (nos. zad. Heček, N.), Zagreb.
- Eptisa Adria (2017a): Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta strategije prilagodbe klimatskim promjenama, Radna verzija Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (Zelena knjiga), Zagreb.
- Eptisa Adria (2017b): Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta strategije prilagodbe klimatskim promjenama, Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC Velebit za potrebe izrade nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. s pogledom na 2070. i Akcijskog plana (Podaktivnost 2.2.1.) Zagreb.
- EU Comission (2015): Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. Guidance No 31., Luxemburg.
- Fakultet graditeljskih znanosti iz Zagreba (1990): Izvedbeni projekt Magistralne ceste 2.1. Cerovlje – Rogović – Beram, Izvedbeni projekt uređenja Pazinskog potoka (nos. zad. Petraš, J.), Zagreb.
- Feldman, A. D. (2000): Hydrologic modeling system HEC-HMS: technical reference manual. Davis, CA, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
- Feresini, N. (2012): La foiba di Pisino / Pazinska jama, Zajednica Talijana Pazin (ur. Šišović, D.)
- GEO-5 (2002): Opažanja razine podzemne vode na prostoru zapadne i južne Istre u tijeku 2001. godine (nos. zad. Mihovilović, M.), Rovinj.
- Građevinski fakultet u Rijeci (2005): Vodni resursi i značajke kopnenih voda Istre u sušnim razdobljima, Rijeka
- Građevinski fakultet u Rijeci (2021): Bujica Podberam – obrana od poplava, Stručna ekspertiza, nepublicirano
- Građevinski fakultet u Rijeci i DHMZ (2019): Analiza oborina na pilot područjima u Istri i Zagrebu (Projekt RAINMAN), nepublicirano
- Građevinski fakultet u Rijeci i Higra d.o.o. (2020): Mjerenje izdašnosti izvorišta Modro oko, nepublicirano

- Haček, M. i Hanich, M. (1981): Preliminarni izvještaj o rezultatima istražnih radova na izvorištima u dolini rijeke Raše u svrhu njihovog iskorištavanja za vodoopskrbu – Industroprojekt, Zagreb.
- Haček, M. i Hanich, M. (1982): Hidrogeološki istražni radovi sa svrhom određivanja zona sanitarne zaštite vodocrpilišta Rakonek, te izvorišta Sv. Antun i Bolobani – Industroprojekt, Zagreb.
- Haček, M., Hanich, M. i Čulinović, D. (1985): Istražni radovi u dolini rijeke Raše na izvorima Boloban i Šumber – INA projekt, Zagreb.
- Haček, M., Lipovac, R. i Čulinović, D. (1986): Istražni radovi u dolini rijeke Raše na izvorima Rakonek i Grdak (istražno bušenje), INA projekt, Zagreb.
- Hajduk Černeha, B., Rubinić, J., Mihelčić, N. (2007): Akumulacija Butoniga – problemi bilance i kakvoće vode, Hrvatske vode i Europska unija – Izazovi i mogućnosti (ur. Gereš, D.), Zagreb: Hrvatske vode, str. 361-370
- HGI i Građevinski fakultet u Rijeci (2021): Definiranje ekološki prihvatljivih protoka Gacke i Like: Hidrološke i hidrogeološke podloge, nepublicirano
- Horvat, B. i Rubinić, J. (2006): Annual runoff estimation - an example of karstic aquifers in the transboundary region of Croatia and Slovenia. Hydrological Sciences Journal, 51(2), str. 314-324.
- Hrvatske vode (2014): Provedbeni plan obrane od poplava branjenog područja Sektor E – Sjeverni Jadran, Branjeno područje 23; Područja malih slivova Mirna – Dragonja i Raša – Boljunčica. Zagreb. (https://www.voda.hr/sites/default/files/clanak/bp_22_-_provedbeni_plan_obrane_od_poplava.pdf)
- Hugues, C. (1903): Podzemna kraška hidrografija – Idrografia sotterranea carsica: Studi e ricerche per provedimenti di acqua potabile nelle regioni carsiche, Librisaggi, Gorizia str. 64
- IGH (2013): Idejno rješenje odvodnje i navodnjavanja Pazinštine (nos. zad. Matković, B.), Rijeka.
- Jekić, M. i Zlokolica, M. (1988): Pećina Piskovica, Speleo BiH, 1-2, Sarajevo, 69-78
- Jørgensen, S. i Bendoricchio, D. (2001): Fundamentals of ecological modelling. Amsterdam: Elsevier Science Ltd.
- Jovanović, S. (1974): Parametarska hidrologija. Seminar o obradi hidroloških podataka, Izola 23.-28.2.1975. Jugoslavensko društvo za hidrologiju, Beograd
- JVP istarskih slivova (1992): Hidrološke karakteristika bilanca voda rijeke Raše – hidrološki izvještaj. (nos. zad. Rubinić J.), Labin, nepublicirano, nepublicirano.
- JVP istarskih slivova (1993 a): Poplave na području Istre (22.-23.10.1993.) – hidrološki izvještaj, Labin, nepublicirano
- JVP istarskih slivova (1993 b): Hidrološka studija izvora Rakonek (nos. zad. Rubinić, J.), , Labin, str. 191., nepublicirano
- Kosztra, B., Büttner, Hazeu, G., Arnold, S. (2017): Updated CLC illustrated nomenclature guidelines. EEA European Topic Centre on Urban land and soil system.

https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/docs/pdf/CLC2018_Nomenclature_illustrated_guide_20190510.pdf

- Kubelka, V. (1979): Primjena radioaktivnih metoda kod provedbe kompleksnih istražnih radova u definiranju kvantiteta i kvaliteta voda krških izvora u Istri. Arhiv IRB-a, Zagreb.
- Kubelka, V. i Kvastek, K. (1983): Preliminarni izvještaj o trasiranju ponora Pazinčice. Arhiv IRB-a, Zagreb.
- Kuhta i Božićević, (1997): Zagađenje Pazinske jame mazutom, jedan od najvećih ekoloških incidenata u kršu. Speleolog 44-45/1, 30-34.
- Kuhta, M. i Stroj, A. (2010): Primjeri incidentnih onečišćenja speleoloških objekata tekućim ugljikovodicima i njihove posljedice. Stručni seminar o zaštiti špilja i podzemne faune, Zbornik radova, 24-38.
- Kušan, V. (2010): CORINE Land Cover pokrov i namjena korištenja zemljišta u Republici Hrvatskoj – stanje i trendovi. Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb, 128 str.
- Langbein, W.B. (1962): The Water Supply of Arid Valleys in Intermountain Regions In Relation to Climate, IAHS Bull., Vol.7/1.
- Magaš, N. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100.000. List Cres, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd. Arhiv HGI-CGS
- Malez, M. (1968): Ponor Pazinčice i njegova uloga u podzemnom hidrološkom sistemu srednje i južne Istre, Geografski glasnik, 30, 61-77
- Mangin, A. (1984): Pour une meilleure connaissance des systemes hydrologiques a partir des analyses correlative et spectrale. Journal of Hydrology, 67, 25 – 43.
- Martel, E.A. (1894): Les Abimes - Les Eaux Souterraines, Les Gavernes, Les Sources - La Speleologie, Librairie Charles Delagrave, Paris
- Mišetić, S. (1995): Pristup određivanju minimalnih količina vode za potrebe biološkog minimuma. Zbornik radova Okruglog stola Hrvatskog hidrološkog društva «Uloga hidrologije u strukturi gospodarstva Hrvatske», Zagreb, 20.04.1995., 99-103.
- Mišetić, S., Pavlin, Ž. (2004): Pristup definiranju ekološki prihvatljivog protoka (EPP) u Republici Hrvatskoj. Zbornik radova seminara Velike i male vode, Društvo građevinskih inženjera Zagreb i Hrvatsko hidrološko društvo, Zagreb, 1. i 2. 04.2004., 205-221.
- Mišetić, S., Pavlin, Ž., Mrakovčić, M., Jurić, V. (2003): Defining environmentally acceptable flow downstream intake structures in Croatia. Management of Environmental Quality: An International Journal, Vol. 14 Iss: 4, pp.520 – 532.
- Musgrave, G. W. (1995): How much of the rain enters the soil? Yearbook of agriculture, Water, USDA, Washington DC, 151-159
- NN 55/2016: Plan upravljanja vodnim područjima 2016.-2021. (https://www.voda.hr/sites/default/files/plan_upravljanja_vodnim_podrucjima_2016._-2021.pdf)

- NN 63/21: Strategija niskougljičnog razvoja RH do 2030. s pogledom na 2050. (https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_06_63_1205.html)
- NN 66/16: Odluka o donošenju Plana upravljanja vodnim područjima 2016.-2021.
- NN 96/19: Uredba o standardu kakvoće voda (https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_10_96_1879.html)
- Ožanić, N., Rubinić, J., Kamber, S., Diković, S. (1997): Ekološki akcident – tone mazuta u koritu Pazinčice. Hrvatska vodoprivreda, br. 62-63, str. 85-92., Zagreb
- Panisset Travassos L.E., Souza Andrade G.D., Chaves Borges F.E.A. (2018): O Carste e o Geopatrimônio em Júlio Verne: o exemplo de Mathias Sandorf. Atelie Geografico 12/2, 53-77.
- Pasini, F. (1914): Relazione sul progetto della bonifica renana, Bologna Universita.
- Pilgrim, D.H. i Cordery, I. (1975): Rainfall temporal patterns for design floods. Journal of the Hydraulics Division, 101(1), pp.81-95.
- Polšak, A. (1970): Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100.000. List Pula, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd. Arhiv HGI-CGS
- Polšak, A. i Šikić, D. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100.000. List Rovinj, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd. Arhiv HGI-CGS
- Ponce, V. M. i Yevjevich, V. (1978): Muskingum-Cunge method with variable parameters. J. Hydraul. Div. ASCE, 104(HY12): 1663-1667.
- Prelogović, E., Kuk, V., Buljan, R., Tomljenović, B. i Skoko, D. (1999): Recent tectonic movements and earthquakes in Croatia. In: Čolić K. & Moritz H. (eds): Proc. 2nd Intern. Symp., Geodynamics of the Alps-Adria area by means of terrestrial and satellite methods. Dubrovnik, Sept. 28 - Oct. 2, 1998, Zagreb a. Graz, 255-260.
- Quadrivium (2019): Plan izvlačenja trupaca iz Pazinske jame (nos. zad. Labinjan, L.), Karojba, nepublicirano.
- Ravlić, N., Babić, M., Plišić, I. i Beović, B. (2007): Vodoopskrbni plan Istarske županije.- Arhiv Instituta građevinarstva Hrvatske d.d., PC Rijeka i Zagreb.
- RGN (1997): Zaštita izvorišta pitke vode u Istri. Recenzija izvješća i prijedlog rješenja (nepublicirano), Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- Rubinić, J. (1999): Idejno rješenje razvitka izvorišta regionalnog vodoopskrbnog sustava Istre – hidrologija, Mošćenice.
- Rubinić, J. (2014): Vransko jezero u Dalmaciji i klimatski utjecaji. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, doktorski rad.
- Rubinić, J. i Kukuljan, I. (1996): Pazinčica – najveća istarska ponornica, Hrvatska vodoprivreda, (1330-321X) 1; 20-24
- Rubinić, J., Bušelić, G., Kukuljan, I. i Kosović, M. (1998): Hidrološka analiza suspendiranog nanosa u Istarskim vodama, Hrvatske vode, 7, 27, 127-137

- Rubinić, J., Katalinić, A. (2014): Water regime of Vrana Lake in Dalmatia (Croatia): changes, risks and problems. *Hydrological Sciences Journal*, 59(10), str. 1908-1924.
- Rudan, M. (2016): Analiza tehničkih rješenja zaštite od poplava u slivu Pazinčice, diplomski rad
- Salimi, E.T., Nohegar, A., Malekian, A., Hoseini, M. i Holisaz, A. (2017): Estimating time of concentration in large watersheds. *Paddy and Water Environment*, 15(1), pp.123-132.
- Shaw, T.R. (2001): Bishop Hervey Trieste and in Slovenia, 1771, *Acta Carstologica*, Ljubljana 30 (2), str. 279-291
- Shaw, T.R. i Adam, N. (2001): Alberto Fortis and the Istrian karst, Croatia, in 1770 and 1771. *Acta carsologica*, letnik 30, številka 1, str. 181-212.
- SL.N.IŽ 12/2005: Odluka o zonama sanitarne zaštite izvorišta vode za piće u Istarskoj županiji.
- Službene novine Grada Pazina i Općina Cerovlje, Gračišće, Karojba, Lupoglav, Motovun i Sveti Petar u Šumi (36/2016): https://www.pazin.hr/snovine/SN_36_2016.pdf
- Službene novine Grada Pazina i Općina Cerovlje, Gračišće, Karojba, Lupoglav, Motovun i Sveti Petar u Šumi (30/2016): <https://www.pazin.hr/wp-content/uploads/3016.pdf>
- SN FBiH 4/2013: Pravilnik o načinu određivanja ekološki prihvatljivog protoka
- Starec, R. (2002): Speljati vodo na svoj mlin. *Vodni mlini v Istri / Portare acqua al proprio mulino. I mulini idraulici in Istria, Capodistria*
- Šikić, D. i Polšak, A. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100.000. List Labin, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd. Arhiv HGI-CGS, Zagreb.
- Turc, L. (1954): Le bilan d'eau des sols, relation entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement, Troisièmes journées de l'hydraulique à Alger.
- USDA (1972): Hydrology. *National Engineering Handbook*, Section 4, USDA Soil Conservation Service, U.S.D.A. Government Printing Office: Washington, D.C.
- USDA (1986): *Urban Hydrology for Small Watersheds*. USDA Natural Resources Service, Conservation Engineering Division, Technical Release 55.
- USDA (2004): *National Engineering Handbook: Part 630—Hydrology*. USDA Soil Conservation Service: Washington, DC, USA
- Visintin, D. (2010): Mlinovi na Pazinčici, Muzej grada Pazina, Pazin.
- WEKA (2017): <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>
- Yriarte, C. (1875): "Trieste e l'Istria", in *Il Giro del mondo*. *Giornale di viaggi, geografia e costumi*, vol. II, Milano
- Zlokolica Mandić, M. i Jekić, M. (2017): Pećina Piskovica - najdulja hrvatska pećina u flišu, *Subterranea Croatica*, 15 (2), str. 29-33
- Žugaj, R. (2015): Hidrologija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb

Web stranice:

<https://repositorij.meteo.hr/>

<https://esg-dn1.nsc.liu.se/projects/esgf-liu/>

<https://www.istramet.hr/>

<https://www.neverin.hr/>

https://klima.hr/k4/mreza_postaja.jpg

<https://meteo.hr/>

<https://www.interreg-central.eu/Content.Node/RAINMAN.html>

<https://blog.dnevnik.hr/mojpotok/>

<https://www.facebook.com/GradjanskaInicijativaNasPotok>

<https://www.bioportal.hr/gis/>

[https://blog.dnevnik.hr/mojpotok/oznaka/zelena-peina#gallery\[1385313220\]/30/](https://blog.dnevnik.hr/mojpotok/oznaka/zelena-peina#gallery[1385313220]/30/)

<https://www.central-istria.com/hr/aktivnosti-activities-aktivurlaub/ribolov-fishing>

<https://www.pijanitvor.com/threads/bare-cerovlje-istra.2731/>