



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA

1st CROATIAN CONFERENCE ON WATERS

ODRŽIVI RAZVOJ I
UPRAVLJANJE VODAMA

SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND
WATER MANAGEMENT

ZBORNIK RADOVA **2** PROCEEDINGS



DUBROVNIK - HRVATSKA 24.-27. svibnja 1995.
DUBROVNIK - CROATIA, May 24.-27. 1995

ZBORNİK RADOVA 1. HRVATSKE KONFERENCIJE O VODAMA

Izdavač
JVP "HRVATSKA VODOPRIVREDA"
Zagreb, Ulica grada Vukovara 220

Glavni i odgovorni urednik
dr. sc. Dragutin Gereš, dipl.inž.građ.

Zamjenik glavnog urednika
Ljudevit Tropan, dipl.inž.građ.

Lektor
Ljiljana Šarić

Prijevod sažetaka na engleski
Sabina Ekinović
Dubravko Dosegović

Likovno rješenje omota
Antun Paunović

Priprema referata za tisak
Ramon Mavar
Franjo Vančina

Tisak
TOPGRAF – Velika Gorica

CIP - Katalogizacija u publikaciji
Nacionalna i sveučilišna biblioteka, Zagreb

628.1 (497.5) (063) (082)

556 (497.5) (063) (082)

HRVATSKA konferencija o vodama (1 ; 1995 ; Dubrovnik)

Održivi razvoj i upravljanje vodama : zbornik radova /
1. hrvatska konferencija o vodama, Dubrovnik, 1995. :
< glavni i odgovorni urednik Dragutin Gereš >. - Zagreb :
Hrvatska vodoprivreda, 1995. - 2 sv. : ilustr. ; 24 cm

Tekst na hrv. ili engl. jeziku.

- Bibliografija uz svaki rad.

- Summaries.

ISBN 953-96455-0-6 (cjelina)

Knj. 1. - 560 str.

Kazalo autora

ISBN 953-96455-2-2

950517094

ISBN 953-96455-2-2

Organizatori Prve konferencije o vodama, Znanstveni i Organizacijski odbor i glavni i odgovorni urednik Zbornika radova ne snose odgovornost za iznesene stavove i zemljovide uključene u ovaj Zbornik. Autori su u potpunosti odgovorni za sadržaj i oblik svojih referata.

HRVATSKA VODOPRIVREDA – ZAGREB

1. HRVATSKA
KONFERENCIJA
O VODAMA

ODRŽIVI RAZVOJ
I UPRAVLJANJE VODAMA

ZBORNIK RADOVA
KNJIGA 2

DUBROVNIK, 1995.

KAZALO

KNJIGA 2.

Tema 4. GOSPODARENJE PODZEMNIM VODAMA HRVATSKE	
R 4-01	Božičević, S. Neiskorištena pitka voda u speleološkim objektima 15
R 4-02	Pavičić, A., Renić A. Utjecaj ličkih ponornih voda na priobalne izvore 23
R 4-03	Biondić, B., Dukarić, F., Biondić, R. Utjecaj mora na priobalne krške vodonosnike 31
R 4-04	Slišković, I. Hidrogeologija Hercegovine i utjecaj akumulacija na režim izvora 41
R 4-05	Hlevnjak, B., Magdalenić, A., Vazdar, T., Urumović, K., Dragičević, I. Uloga izvora Tombazin u regulaciji izvora Sv. Ivan u Istri 53
R 4-06	Stojić, P. Akumulacija Lar – Iran, ispitivanje kaverne br. 2 vodom pod tlakom 65
R 4-07	Britvić, V., Perica, R., Krištofek, B. Utjecaj karstifikacije na mogućnost bočne i dubinske komunikacije voda Jadranskog priobalja 75
R 4-08	Borović, D., Kereković, A., Jović, V. Matematičko modeliranje utjecaja akumulacije u aluvijalnoj dolini na promjenu razine podzemne vode u zaobalju 83
R 4-09	Režek, T., Šobot, S. Sustavna kontrola zdravstvene ispravnosti voda bunara vodocrpilišta Nedelišće 93
R 4-10	Marović, G., Senčar, J. Prirodna radioaktivnost ²²⁶Ra u podzemnim vodama 101
R 4-11	Roje-Bonacci, T. Piezometarski pritisci, efektivna naprezanja, inducirani potresi 107
R 4-12	Kolbach, S., Čubrić, S., Šćurić, S., Šego, B. Prilog korištenju hidrogeotermalnih resursa Hrvatske 115
Tema 5. EKSTREMNE HIDROLOŠKE PRILIKE	
R 5-01	Vranješ, M., Vidoš, D. Obrana od poplava područja Jerkovac 127

R 5-02	Lalić, B. Utjecaj klimatskih faktora na porast poplavnih valova	137
R 5-03	Rubinić, J., Ožanić, N. Hidrološki aspekti gospodarenja akumulacijom Botonega u Istri	147
R 5-04	Ožanić, N., Rubinić, J. Hidrološki koncept funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu	159
R 5-05	Biondić, D. Morfološke prognoze korita Save kod Zagreba	169
R 5-06	Plantić, K., Pavić, I., Penavić, J. Iskustva, stanje i razvoj baza podataka za područje vodnih resursa u Republici Hrvatskoj	175
R 5-07	Brilly, M., Vidmar, A. Vodoprivredni informacijski sistem Slovenije	181
R 5-08	Mayer, B. Opseg i značenje monitoringa podzemnih i površinskih voda za nizinske šume u Hrvatskoj	189
Tema 6. VIŠENAMJENSKO KORIŠTENJE AKUMULACIJSKIH JEZERA I NJIHOV UTJECAJ NA OKOLIŠ		
R 6-01	Franković, B., Marušić, J., Mišetić, S., Tedeschi, S. Višenamjenska umjetna jezera i okoliš	201
R 6-02	Beraković, B. Mogućnosti uređenja i korištenja voda rijeke Drave neposredno uzvodno od Osijeka	209
R 6-03	Petričec, M., Grgić, B., Švonja, M. Pristup uređenju, korištenju i zaštiti voda sliva rijeke Cetine	215
R 6-04	Vidaček, Ž., Sečen, V., Husnjak, S., Sraka, M. Utjecaj hidroenergetskoga sustava Kosinj na poljoprivredu Lipovoga polja u Lici	223
R 6-05	Mišetić, S., Šurmanović, D., Mrakovčić, M., Tomašković, N. Promjene postojećega biološkog stanja dijela rijeke Drave nakon izgradnje hidroenergetskoga sustava HE Dubrava	233
R 6-06	Guštin, A. Male hidroelektrane u višenamjenskom korištenju voda	239
R 6-07	Habeković, D. Ribarstvene mogućnosti hidroakumulacije Peruća	247
R 6-08	Šurmanović, D., Mišetić, S., Tomašković, N., Mrakovčić, M., Matijević-Kušter, V. Biološke značajke obodnih kanala hidroenergetskoga sustava HE Dubrava	253
R 6-09	Đuroković, Z., Brnić-Levada, D., Tadić, Z. Utjecaj izgradnje vodnih stuba na pronos nanosa	263

R 6-10	Hrelja, H. Uloga akumulacija u vodoprivrednom razvoju Bosne i Hercegovine	275
R 6-11	Bjedov, T. Višenamjensko korištenje akumulacijskih jezera rijeke Zrmanje	283
R 6-12	Goluža, M., Čović, V. Višenamjensko korištenje akumulacija u slivu Trebižata	295
R 6-13	Smoljo, A. Analiza mogućnosti akumulacije "Bregana" u osiguranju potrebnih voda	303
R 6-14	Predovan, N. Supstitucija Novigradskog mora akumulacijom rijeke Zrmanje	315

Tema 7. HIDRAULIČKA ISTRAŽIVANJA

R 7-01	Ilić, S., Axe, P., Chadwick, A., Davidson, M., Bird, P., Bullock, G., Pope, D. Uloga valobrana u zaštiti obale	325
R 7-02	Bojanić, D., Jović, V. Hidraulički proračuni kolektora luke Split	333
R 7-03	Kuspilić, N., Pršić, M. Zaštita marina plutajućim lukobranima	341
R 7-04	Filipović, M. Analiza efekata izvedenih radova u Srednjem Posavlju	349
R 7-05	Mijušković-Svetinović, T. Mjerni objekt u kanalu trapeznog poprečnog presjeka	361
R 7-06	Krzyk, M., Premič, A. Primjena vrtložnog prigušivača u hidrotehničkim sustavima pod tlakom	369
R 7-07	Četina, M., Krzyk, M. Primjena kombinacije 1D i 2D matematičkog modela na simulaciji toka u prirodnim vodotocima	377
R 7-08	Rajar, R., Četina, M., Žagar, D., Širca, A. 3D matematički model za simulaciju razlijevanja nafte u moru	385
R 7-09	Jović, V., Jurić, V. Prostorni model procjeđivanja sa samoizljevnim zdencima	393
R 7-10	Vukelić, Z. Ocjena unosa lebdećeg nanosa u akumulaciji	401
R 7-11	Miler, Č. Izrada, uvođenje i korištenje matematičkih modela vodoopskrbnog sustava otoka Krka	411
R 7-12	Gjetvaj, G. Primjer povećanja učinkovitosti izgrađene horizontalne taložnice	421

Tema 8. KOMPLEKSNA ISTRAŽIVANJA POPLAVA U HRVATSKOJ

- R 8-01 Čapka, B., Sijerković, M.
Procjena i upravljanje rizicima od prirodnih katastrofa 433
- R 8-02 Ridanović, J., Šimunović, V.
Geografski aspekt poplave s primjerima iz Hrvatske i
Hercegovine 441
- R 8-03 Bognar, A.
Regulacije i njihov utjecaj na geomorfološko oblikovanje korita
Drave i Dunava u Hrvatskoj 449
- R 8-04 Curić, Z.
Hidrogeografske značajke Donjoneeretvanskoga kraja 463
- R 8-05 Smirčić, A., Glavaš, B., Švonja, M.
Neke hidrološke i batimetrijske značajke Baćinskih jezera 471

Tema 9. ISTRAŽIVANJE I MJERE ISTRAŽIVANJA NA JADRANU

- R 9-01 Leder, N., Smirčić, A., Gržetić, Z.
Istraživanje morskih struja i optimalno lociranje podmorskog
ispusta otpadnih voda u području ušća rijeke Cetine 487
- R 9-02 Viličić, D., Jasprica, N., Carić, M.
Estuarij rijeke Omble: "cvjetanje" fitoplanktona, eutrofikacija i
zaštita 497
- R 9-03 Čiček, J.
Zdravlje i okolina u Mediteranskom području 507
- R 9-04 Čiček, J.
Prosudba rizika po zdravlje od zagađenja mora 519

Indeks autora 531

Knjiga 1.

Predgovor

Forward

REFERATI PO POZIVU

P 0-01 Nestroy, O.
On the Question of Soil Water Balance in the Leibnitz Area (Styria)

P 0-02 Sevruc, B., Nepor, V., Zahlavova, L.
IAHS/WMO Precipitation Project for GEWEX: Swiss Experience

Tema 1. INTEGRALNI RAZVOJ I VODOPRIVREDA

R 1-01 Gereš, D.
Održivi razvoj i integralno upravljanje vodama

R 1-02 Marušić, J., Šturlan, S., Kolovrat, I.
Značenje, ratne štete i obnova vodoprivrednih objekata

R 1-03 Margeta, J., Kuzmanić, V.
Održivi razvoj obalnih područja i gospodarenje vodama

R 1-04 Kritovac, F., Tropan, Lj.
Interakcije vodnogospodarskih sustava sa socijalnim okruženjem

R 1-05 Beraković, B.
Gospodarenje vodama

R 1-06 Tomičić, B.
SP 226 - Europski projekt za RTC u urbanoj odvodnji

R 1-07 Gereš, D.
Putevi razvoja vodoopskrbe u Republici Hrvatskoj

R 1-08 Mihelčić, D., Gereš, D., Petrović, M., Urumović, K.
Specifičnosti razvika vodoopskrbnog sustava Slavonske Podravine

R 1-09 Mihelčić, D., Petković, A.
Aktualni problemi opskrbe vodom Zadarsko-Biogradskog područja

R 1-10 Šiljković, Ž.
Korištenje voda u industriji Hrvatske

R 1-11 Milanović, Z.
Tehnoekonomske osnove razvoja cjelovitog sustava gospodarenja vodama

R 1-12 Petraš, J.
Rizik od štetnoga djelovanja voda kao ekonomska kategorija

R 1-13 Ravlić, N., Bošković, D., Deduš, B.
Planiranje i upravljanje akvatorijem Riječkog zaljeva

R 1-14 Bojanić, F.
Odvodnja otpadnih voda s područja oko Kaštelanskoga zaljeva

R 1-15 Lipnjak, G.
Voda i otpadna voda elektroničke industrije

- R 1-16 Čiček, J.
Kriteriji kvalitete rekreacijskih voda
- R 1-17 Hrustić, S.
Neravnomjernosti dnevne potrošnje u vodovodnoj mreži
- R 1-18 Seletković, Z., Tikvić, I., Ivančević, V.
Šumska vegetacija kao regulator optimalnih vodnih odnosa sliva
- R 1-19 Hromatko, I., Steinbauer, M.
Projekt hitne obnove u vodoprivredi Hrvatske

Tema 2. PROSTORNO UREĐENJE I GOSPODARENJE VODAMA

- R 2-01 Bonacci, O.
Primjena koncepta determinističkoga kaosa prilikom analize vodnih resursa
- R 2-02 Gabrić, M., Tedeschi, S.
Prostorno uređenje i gospodarenje vodama u kršu
- R 2-03 Lozić, I.
Planiranje i projektiranje autocesta u ekološki osjetljivim područjima
- R 2-04 Tušar, B.
Planski razvoj područja i zaštita okoliša
- R 2-05 Barbalić, S., Švonja, M.
Pristup izradi vodnogospodarskoga rješenja Donje Neretve
- R 2-06 Mikoš, M.
Utvrđivanje vodnog prostora u Republici Sloveniji
- R 2-07 Romić, D., Tomić, F., Romić, M.
Dinamika i porijeklo soli u vodama Vranskog jezera
- R 2-08 Vrdoljak, S., Šimunović, I., Bojanić, F.
Prostorno-ekološka valorizacija područja zona sanitarne zaštite izvorišta Jadro
- R 2-09 Beraković, M.
Hidrološke osnove gospodarenja vodama na području grada Zagreba
- R 2-10 Fritz, F., Ivančić, B.
Mogućnosti smještaja otpadnih tvari u Dalmaciji
- R 2-11 Nikolić, S., Švel, B.
Preventivne mjere zaštite okoliša – Jadranski naftovod – dionica Omišalj-Sisak
- R 2-12 Herenda, J.
Gospodarenje otpadom u funkciji zaštite podzemnih voda
- R 2-13 Mihaljević, M., Gucunski, D., Novoselić, D.
Prilog restauraciji vode stajačice u Osijeku
- R 2-14 Haničar, D., Đuroković, Z.
Mjerenje opasnih tvari u rijeci Dravi
- R 2-15 Obranić, A., Telišman, Ž.
Raspršeni (r) i točkasti (t) izvori onečišćenja voda rijeka Drave i Save

- R 2-16 *Cesar, D., Franić, Z., Kovač, J., Maračić, M., Stampf, Đ.*
Radioaktivnost riječnih i vodovodnih voda u Republici Hrvatskoj
- R 2-17 *Franić, Z., Maračić, M.*
Radioaktivna kontaminacija cisternskih voda ⁹⁰Sr
- R 2-18 *Čiček, J.*
Javno-zdravstveni i zdravstveno-higijenski aspekti zaštite vodotoka
- R 2-19 *Gereš, D.*
Ekološko i zdravstveno značenje aluminija u prirodnoj i pitkoj vodi
- R 2-20 *Vodopija, M., Ćosić-Flajsig, G.*
Kanalizacijski sustav i funkcija uređaja za pročišćavanje
- R 2-21 *Zmaić, B.*
Odvodni sustav kao fizikalni, kemijski i biološki reaktor
- R 2-22 *Lalić, O., Kordek, S.*
Sustavna sanacija distribucijskih vodovodnih mreža
- R 2-23 *Tusić, V., Filipović, B.*
Analiza vodonosnika Brodske Posavine s obzirom na koncentraciju željeza u vodi
- R 2-24 *Marušić, J.*
Potreba i značenje hidromelioracijskih sustava podzemne odvodnje u Hrvatskoj
- R 2-25 *Vranješ, M., Vidoš, D.*
Dimenzioniranje melioracijskih sustava u Donjoj Neretvi
- R 2-26 *Kos, Z.*
Natapanje i održivi razvoj
- R 2-27 *Tadić, L., Vidaček, Ž., Kadić, Đ., Tadić, Z.*
Prilog racionalnom projektiranju natapanja na primjeru objekta Žestilje u Slavoniji
- R 2-28 *Šimunić, I., Tomić, F., Stipić, N., Redžepović, S.*
Koncentracija NO₃-N i NH₄-N u drenažnim vodama pri različitim sustavima detaljne odvodnje

Tema 3. VRIJEME, KLIMA, RELJEF I HIDROLOŠKE PRILIKE

- R 3-01 *Gajić-Čapka, M.*
Klimatološki podaci i upravljanje vodama
- R 3-02 *Mileta, M.*
Oborina od magle na Velebitu
- R 3-03 *Juras, J., Juras, V., Zaninović, K.*
Praćenje anomalija količina oborina
- R 3-04 *Penzar, I., Pandžić, K., Penzar, B.*
Odnos oborinske i isparene vode
- R 3-05 *Kisegi, M., Trninić, D., Pandžić, K., Glasnović, D., Slamar, T.*
Povezanost oborina i protoka u sjevernoj Hrvatskoj

- R 3-06 *Pandžić, K., Cesarec, K., Grgić, B.*
Analiza oborina i protoka na rijeci Cetini
- R 3-07 *Orlić, M.*
Vodostaj Jadranskoga mora i klima
- R 3-08 *Šojat, V., Borovečki, D.*
*Kemijski sastav i svojstva oborina na meteorološkim
postajama Rijeka, Senj i Šibenik*

Tema 4.
GOSPODARENJE PODZEMNIM
VODAMA HRVATSKE



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Srećko Božičević

R 4-01

Neiskorištena pitka voda u speleološkim objektima

SAŽETAK: *Minuli Domovinski rat na području krša pokazao je kako su osjetljivi regionalni vodovodni sustavi. Do sada smo očito premalo pozornosti posvećivali lokalnim podzemnim nakupinama ili tokovima podzemne vode, koja se isto može upotrijebiti kao pitka voda.*

U radu se iznose samo neki najznačajniji primjeri od niza takvih, dosta brojnih detalja s područja našega krša. Nabrojani su: jama (pećina) Pincinova u Istri, Kaverna uz cestovni tunel Učka, Mala jama kod Triblja, Jama Golubinka kraj Zadra, Jama Rokina bezdan u Lici, Jopića špilja kod Karlovca, sustav Muškinja-Panjкова špilja na Kordunu i jama Betina kod Vrgorca. Pravovremeno otkrivanje, uočavanje i potrebno hidrološko ispitivanje takvih pojava u području krša omogućava i njihovu pravovremenu zaštitu od svih oblika i načina zagađenja, kako bi se u datom trenutku mogle biti iskorištene za potrebe pitke vode.

Kako je voda jedno od primarnih bogatstava republike Hrvatske, njezin proklamirani održivi razvoj svakako mnogo ovisi i o pravilnom odnosu prema vodi i kao mediju i kao nezamjenjivom rudnom blagu naše države.

KLJUČNE RIJEČI: *regionalni vodovod, neiskorištena podzemna voda, dinarski krš, izvor-pećina, jama s vodom, zaštita od zagađenja*

Unused Potable Water in Potholes

ABSTRACT: *The recent war in Croatia has proven in the karst region how vulnerable regional water supply systems are. We obviously have not paid sufficient attention to the local underground storages or underground flows which can easily be used for potable water.*

The paper gives some of many examples from the Croatian karst. Pincinova Jama cave in Istria, Kaverna by the Učka Tunnel, Mala Jama cave near Tribalj, Jama Golubinka cave near Zadar, Jama Rokina Bezdan cave in Lika, Jopiće Špilja cave near Karlovac, Muškinja-Panjкова Špilja cave in Kordun and Betina cave near Vrgorac are enlisted. Timely detection, perception and necessary hydrological investigation of such phenomena in karst enable their timely protection against all forms and modes of pollution so that they could be used for potable water supply when needed.

Since water is one of elementary Croatian resources, the declared sustainable development certainly depends on correct attitude towards water both as a medium and an irreplaceable mineral capital.

KEY WORDS: *regional water supply system, unused groundwater, The Dinaric karst, cave spring, pit with water, pollution protection*

Dr. Srećko Božičević, dipl.ing. geologije, Institut za geološka istraživanja, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Zagreb

Uvodna napomena

Iz nekoliko primjera minulog Domovinskog rata vidljiva je velika "ranjivost" složenih regionalnih sustava vodovoda, odnosno rješavanje problema pitke vode jedinstvenim cjevovodom za nekoliko većih gradova i naselja jedne regije.

Iako se u području hrvatskog krša do sada glavna pozornost posvećivala regionalnom rješavanju problema iz nekog od najsigurnijih i najkvalitetnijih izvora; minula događanja pokazuju, da se takav koncept teže štiti i brani, te da može postati čak i predmet ucjene, odnosno mogućnosti trovanja i većeg broja stanovnika.

Globalno promatrano, istraženost našeg dijela dinarskog krša s hidrogeološkog staništa uglavnom je zadovoljavajuća, pa se iz već sada postojećih podataka mogu u obzir uzeti samo određene lokacije, koje se obično nalaze i bliže određenim naseljima. No jedini problem u takvim slučajevima je pridržavanje, poštivanja i točno određivanje strogih propisa pri realizaciji granica za zone uže i šire neposredne zaštite odabrane kaptaze od antropogenog zagađenja.

Ispitivanje i analiziranje

Kada se pronade neka povoljna lokacija s mogućnošću neposrednog zahvata pitke vode, potrebno je kompletirati ili prikupiti sve postojeće podatke o kvaliteti vode, te o oscilaciji postojeće vodonosne razine kako u kišnom, tako i u sušnom dijelu godine. Postoje li i mjerni podaci o jednom dužem roku promatranja, tada je dio problema već riješen pa se može slobodnije pristupiti realizaciji potrebnih projekata te građevinskih zahvata za instaliranje pumpnih postrojenja ili za uređivanje bazena taložnica, odnosno crpnih bazena. Važno je voditi računa o visini maksimalnih voda kako one ne bi u trenucima svog istjecanja oštetile crpno postrojenje, pa je potrebno planski izraditi preljevne pragove za slobodan odvod maksimalnog vala istjecanja.

Tako su eto brojne speleološke pojave sa stalnim tokom ili dotokom podzemne vode u svojoj unutrašnjosti ili dubini bez sumnje jedni od najinteresantnijih prirodnih pojava važnih za vodnu ekonomiku na području krša. Na žalost, još uvijek ta voda na mnogim mjestima otječe neiskorištena i gubi se u protočnim jarcima u vrijeme kišnog razdoblja, dok u vrijeme suše obično prihranjuje neke hipsometrijski niže položene izvore.

U području Gorskog kotara, ali i na području Istre, Like i Dalmacije, brojna manja naselja rješavala su problem pitke vode iz nekog svog lokalnog izvora već i prije stotinu godina (Božičević, 1978.). Zanimljiv je bio slučaj s naseljem Prezid koji, iz njemu obližnje pećine Truhovice, vodu upotrebljava za svoje potrebe još od 1886. godine. Višak vode prelijeva se preko betonskog uspora, a minimalna akumulirana voda odvodi se u niže izgrađenu kaptazu, te cjevovodom dalje do naselja. Isto tako uspješna kaptaza izvršena je i kod sela Gorači iznad Čabra iz izvora pećine Sušice. Betonskom kaptazom pred ulazom u pećinu i izgrađenim pregradama odvojene su i kanalizirane maksimalne vode, a taložnicama i postavljenim klorinatorom riješena njezina bistrina i bakteriološka sigurnost.

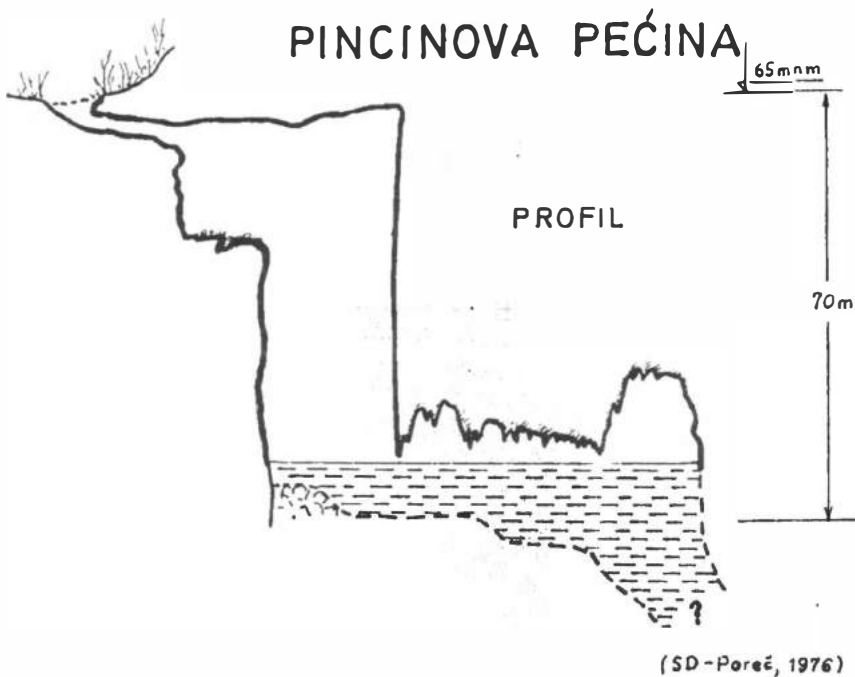
Pošto takvi manji zahvati mogu uglavnom zadovoljavati samo manja naselja, problem postaje složeniji, ako se javi više korisnika ili ako se radi i o nekom turistički interesantnom prostoru u kome se broj potrošača pitke vode povećava baš u najsušnijem periodu za dva, tri ili više puta!

Nedovoljno iskorištene mogućnosti

Od niza primjera s područja našeg dijela dinarskoga krša navest ću samo nekoliko detalja koji su najmarkantniji, te upozoriti na postojeće mogućnosti koje još do danas nisu u potpunosti - ili nikako - iskorištene.

U priobalnom jadranskom području s problemom pitke vode susreće se već turistički najposjećenija Istra, da o otočnim i o ostalim dijelovima i ne govorimo. U gradskim aglomeracijama nužnost za pitkom vodom potencira i dodatna potreba industrijskih postrojenja, koja uz svoj tehnološki proces potrošnje manje kvalitetne vode "žedaju" i za najčistijom pitkom vodom. Kako se negdje te dvije vrste vode ne mogu fizički odvojiti, zahtjevi za potrebnim količinama vode idu na štetu čiste i pitke vode.

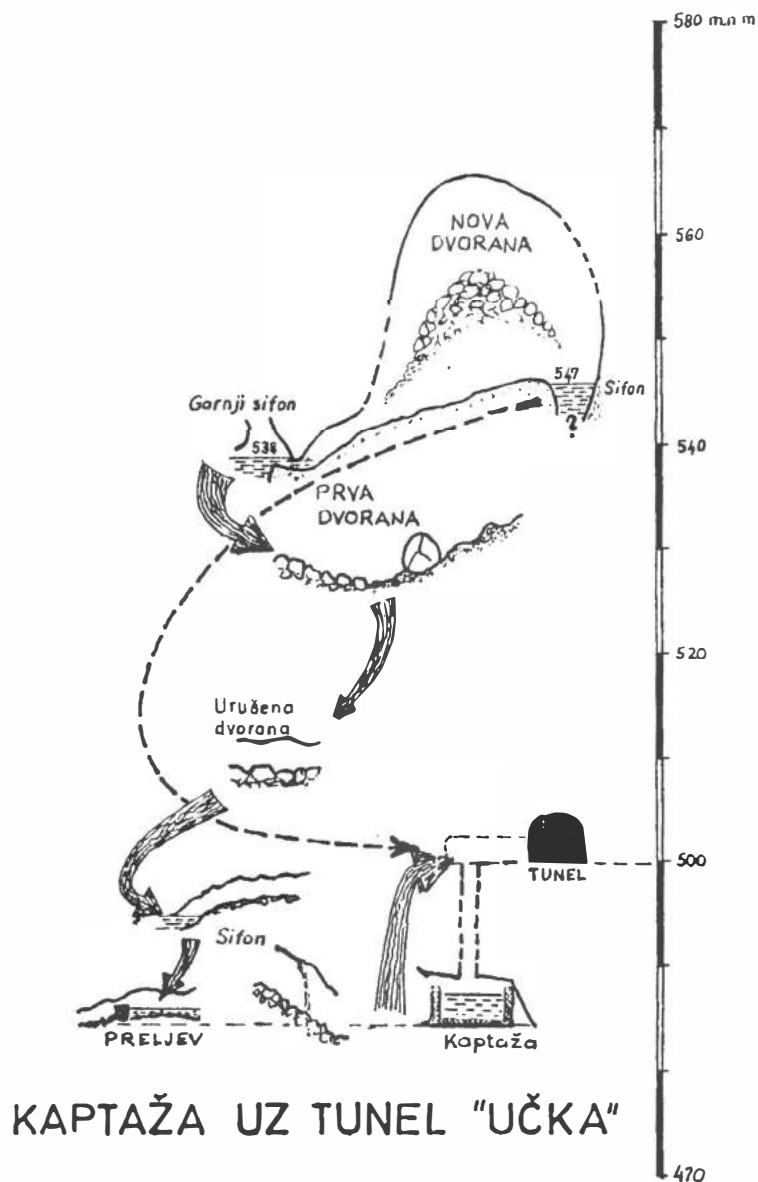
Pećina (jama) Pincinova (Božičević, 1985.) nalazi se sjeveroistočno od grada Poreča u Istri u blizini ceste između naselja Nova Vas-Tar kraj zaseoka Monfaber (sl. 1.). Udaljenost otvora ove speleološke pojave do mora iznosi od 6-7 km, pa tim više iznenađuje pojava slatke vode u njoj.



Slika 1.
Figure 1.

Nakon relativno niskog prolaza i jedne stubice moguć je silazak do podzemnoga vodenog bazena. Vodeni bazen dug je oko 80 metara uz variranje širine kanala od 3 do 22 metra s izmjerenom dubinom od 3 do 22 m. Za kišno vrijeme godine razina akumulirane vode podigne se za još četiri metra, a iza velike završne prostorije podzemni se vodeni kanal nastavlja u još neistraženim dimenzijama. Pojava čovječjih ribica u toj nakupini vode upućuje na njezinu čistoću uz stalan dotok vode iz zaleđa. Potrebna su dodatna detaljna hidrološka istraživanja radi utvrđivanja postojećih rezervi, veličine dotoka i porijekla vode u tom speleološkom objektu.

Kaverna uz cestovni tunel Učka (Božičević, 1985.) ima registriran stalan podzemni tok koji je dodatnim građevinskim zahvatima i radovima proveden u jednu betonsku kaptažu iz koje se električnim crpkama "diže" na niveletu tunelske cijevi i odvodi u veliku zbirnu komoru ispred ulaza u tunel (sl. 2). Dodatnim detaljnim hidrogeološkim ispitivanjima, ispumpavanjem gornjeg sifona i lokalnim trasiranjem utvrđena je mogućnost i porasta kapaciteta, ali i mogućnost gravitacijskog dovodenja vode uz uštedu električne energije (Božičević & Goatti, 1987.), što svakako nije za odbaciti u sadašnjim uvjetima.



Slika 2.
Figure 2.

Mala jama kod Triblja ima registriranu znatnu količinu vode u potopljenim kanalima svog složenog jamskog sustava. U tom bi se podzemnom prostoru dodatnim ronilačkim zahvatima, bušenjem i ispitivanjem kapaciteta dotoka u ljetnom razdoblju moglo utvrditi pravo stanje količina akumulirane podzemne vode. Relativna blizina crikveničke rivijere mogla bi se u kritičnim ljetnim mjesecima osiguravati tim dodatnim količinama vode iz okršenog podzemlja.

Jama Golubinka u Zatonu, sjeverozapadno od Zadra nije do sada detaljno i sustavno ronilački ispitivana, tako da je nedavno izgrađen zahvat za pumpanje vode iz jame realiziran u zoni intenzivnog zaslanjenja. Trebalo je, od sada neutvrđenog prirodnog dna jame krenuti potopljenim kanalima i detaljnom ronilačkom prospekcijom pratiti jamske dovodne kanale i bušotinu za crpljenje vode locirati izvan zone intenzivnog zaslanjenja na jednom od najširih dovodnih krakova toga podzemno, očito vrlo razrađenog speleološkog objekta, koji se "pojavi" uz kontakt fliške barijere i okršenog zaleda.

Na našim otocima relativno je mali broj speleoloških pojava s dostatnim količinama podzemno akumulirane vode, pa se ona traži u hidrološki najpovoljnijim depresijama, odnosno na lokacijama gdje geološka građa naslaga i njihov međusobni odnos to dopušta. U vrijeme relativno male potrošnje pitke vode u doba jedrenjaka, dostatne su ljudima bile i manje količine slatke vode iz jama na Kornatskom otočju, Žirju, Dugom otoku i još nekim drugim lokacijama.

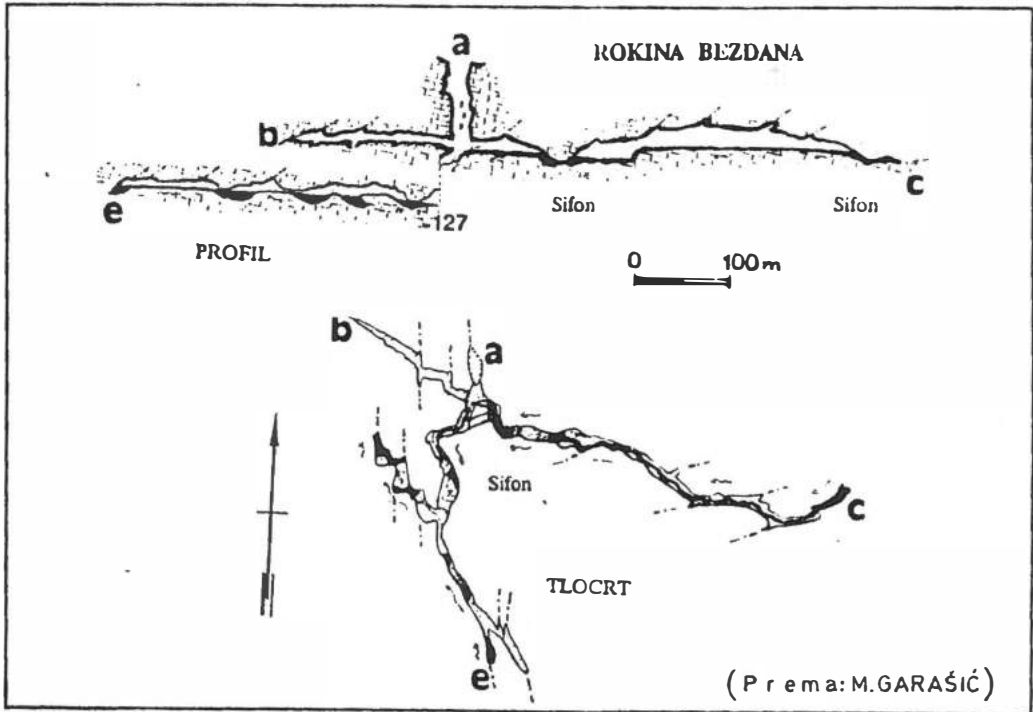
U kopnenom dijelu dinarskoga krša na nekim mjestima još uvijek postoji mogućnost iskorištavanja nezagađenih podzemnih vodenih tokova, ali očito je krajnje vrijeme, da se i te lokacije zaštite ili osiguraju od mogućnosti svakodnevnog onečišćenja.

Jama Rokina bezdan (Garašić & Kovačević, 1992.) spada svakako među najzanimljivije speleološke objekte s vodom na čitavom području hrvatskog krša (sl. 3). Na dubini od stotinu metara ispod razine terena teče podzemni vodotok s protokom od 2 m³/sek za vrijeme ljetnih minimuma do količine od više stotina m³ u doba maksimalnih protoka. Prave količine još uvijek nisu utvrđene. Kako se jama nalazi na području između masiva Velike i Male Kapele dotok vode u nju je iz doboro okršenog zaleda, koje nije pod utjecajem antropogenog zagađenja bilo kakve vrste - za sada! Istražena dužina kanala od nešto preko 1000 metara nije i definitivna, jer su, jedino ronjenjem dostupni, dijelovi potopljenih kanala još uvijek nedovoljno istraženi. Zbog nalaza čovječje ribice u vodenim kanalima Rokine bezdani potvrđena je, kako njezina bakteriološka čistoća, tako i konstantnost protoka, što nedvojbeno dokazuju trajnost podzemnog vodenog toka u ovom speleološkom objektu. S današnjeg stanovišta poznavanja hidroloških parametara u tom objektu, on je za područje hrvatskoga krša potencijalan kao "prava tvornica" za dobivanje pitke vode.

Na području tzv. plitkog krša na dijelovima Banije i Korduna nalaze se dva špiljska sustava s vodenim tokovima u svojoj unutrašnjosti. To su: Jopića špilja između Veljuna i Krnjaka južno od Karlovca, te špiljski sustav Muškinja-Panjakova špilja istočno od Rakovice kod Slunja na Kordunu.

Detaljna istraživanja u Jopića špilji (Čepelak, 1984.) otkrila su splet kanala, dug preko 6.5 km, formiran na relativno uskom prostoru u nekoliko etaža podzemnih kanala u kojima je vodeni tok naden u sada najnižoj vodenoj etaži. Za tu je etažu utvrđeno da ona sifonski izbija na površinu u obliku izvora Vrelce od kog nastaje potok Bent u selu Brebornica. Najveći dio toka podzemne vode u toj špilji vezan je za ponornu vodu potoka Durlić, koji ponire kod sela Zagorje (Čatrnja) u blizini ceste Karlovac-Slunj.

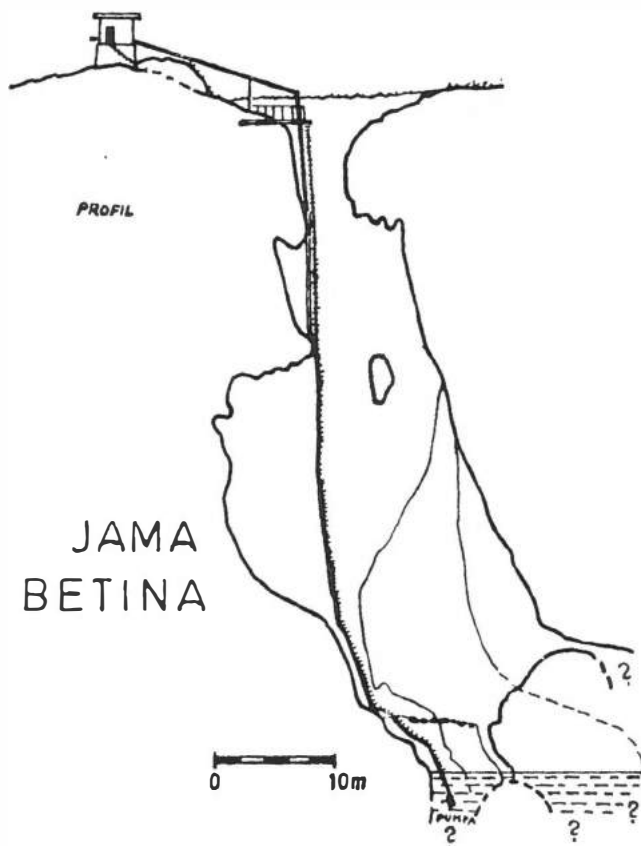
Upotreba voda u Jopića špilji za potrebe lokalnog vodovoda vezano je uz nužno potrebno osiguravanje zaštitnih zona na prostoru toka i samog poniranja potoka Durlić.



Slika 3.
Figure 3.

U vrlo složenom sustavu Muškinja-Panjкова špilja (Garašić, 1991.) do sada je istraženo, za čovjeka prolaznih, preko 12 km kanala međusobno odijeljenih sifonskim preprekama. Do sada je otkriveno čak 24 sifona od kojih je preronjeno 13. Količina vode koja se ovdje nalazi u podzemlju predstavlja vrlo perspektivnu akumulaciju procijenjenu na preko 100000 m³ u sušnom periodu. Ta bi se količina svakako mogla kaptirati za jedan regionalan vodovod okolnih naselja smještenih blizu toka rijeke Korane.

U zabiokovskom prostoru, u dijelu koji gravitira mjestu Vrgorac, upozorio bih na speleološki objekt zvan Jama Betina (Bojanić i dr., 1982.) uz selo Kokorići južno od Vrgorca (sl. 4). Zbog znatnih količina podzemne vode na dnu te jame, stanovnici okolnog sela iskoristili su je za svoje potrebe i na dno spustili pumpe. Akumulacija vode na dnu jame je oko 60 m ispod razine ulaza i dosta je velika s još uvijek nedovoljno ispitanim veličinama potopljenih kanala i dvorana. Postoji podatak da dubina vode varira od 5 do 15 m što još uvijek nije konačno potvrđeno. Na žalost, kada ova jama-estavela u kišnom periodu na nekoliko dana proradi kao povremeni izvor, dolazi do plavljenja prostora oko jame, ali i pumpne stanice, koju je zapravo trebalo izgraditi na jednom povišenom mjestu. Slična jama-estavela, zvana Velika banja, nalazi se sjevernije od Vrgorca i ona je dodatnim bušotinama i pumpnim postrojenjem kaptirana za njegove potrebe. Za sada je jama Betina još premalo speleoronički istražena, ali i hidrološki ispitana, tako da se nedovoljno iskorištava u sušnom periodu godine.



Zaključne napomene

Iz samo nekoliko gore navedenih primjera na području našega dijela dinarskoga krša vidimo, da postoje još brojne neiskorištene mogućnosti za lokalno korištenje akumulacija podzemne vode, tako nužno potrebite za piće kako domaćeg stanovništva, tako i ponegdje i za mnogobrojne ljetne posjetitelje.

Iako je to naglašavano i ranije (Malez, 1969. i Božićević, 1969.), potrebno bi bilo da u sadašnjim uvjetima tom problemu vodne ekonomije posvetimo svakako veću pozornost. Nužno je poraditi na svim još preostalim ispitivanjima kako bi se pravovremeno otkrile i isto tako pravovremeno efikasno zaštitile sve, odnosno, vrijedne podzemne retencije pitke vode od sve učestalijeg zagađivanja.

Razrada svih potrebnih detalja obično je različita kod pojedinih objekata, ali im je zajednički nazivnik: potrebna i dovoljna količina pitke vode kada regionalni vodovodni sistemi budu iz bilo kojega razloga isključeni ili nedostupni.

Kako je voda jedno od primarnih bogatstava republike Hrvatske, njezin proklamirani održivi razvoj svakako u mnogome ovisi i o pravilnijem odnosu prema vodi kao mediju i kao nezamjenjivom rudnom blagu naše države.

Literatura

- Bojanić, L., Božičević, S., Ivičić, D., Capar, A.: Hidrogeološki značaj nekih jama na području Vrgorca. Zbornik referata 7. Jug. simp. o hidrog. i inž. geolog., str. 101.-107., Novi Sad, 1982.
- Božičević, S.: Pećine, jame i ponori s vodom u području dinarskog krša. Krš Jugosl., knj. 6, str. 137.-156., Zagreb, 1969.
- Božičević, S.: Rješavanje lokalnih problema vodoopskrbe u području našeg krša. Zbornik referata, Simpozij o istraž., eksploatiranju i gospodarenju podzemnim vodama, str. 279.-291., Zagreb, 1978.
- Božičević, S.: Morfogeneza speleoloških pojava Istre i njihova zavisnost o geološkim i hidrogeološkim uvjetima (disertacija), Sveučilište u Zagrebu, 1985.
- Božičević, S., Goatti, V.: Ekonomičnije rješavanje vodozahvata u spiljskom prostoru. Zbornik referata 9. jugosl. simpoz. o hidro. i inž. geolog., str. 47.-52., Priština, 1987.
- Čepelak, M.: Neka objašnjenja uz nacrt Jopićeve špilje. Speleolog, sv. 28.-29. (za 1980/81), str. 21.-22., Zagreb, 1984.
- Garašić, M.: Karstifikacija spiljskog kanala iza Zelenog sifona i njegova hidrogeološka uloga u spiljskom sustavu Muškinje i Panjkove špilje na Kordunu. Speleologia Croatica, vol. 2., str. 5.-14., Zagreb, 1991.
- Garašić, M., Kovačević, T.: Speleološki sustav Rokine bezdane u riješavanju hidrogeoloških odnosa u području Male i Velike Kapele (Lika). Speleologia Croatica, vol. 3., str. 15.-22., Zagreb, 1992.
- Malez, M.: Neki značajniji speleološki objekti s vodom u kršu i njihov praktički značaj. Krš Jugosl., knj. 6., str. 105.-136., Zagreb, 1969.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Ante Pavičić, Ante Renić

R 4-02

Utjecaj ličkih ponornih voda na priobalne izvore

SAŽETAK: *Na priobalnim izvorima od Sv. Jurja do Bačvica istječe značajna količina slatke vode, čije slijevno područje seže duboko u zaleđe Velebita. Položaj i izdašnost pojedinih izvora uzrokovan je geološkom građom i hidrogeološkim karakteristikama terena u zaleđu. Prijašnjim obilježavanjima na ponorima rijeke Like i Gacke, dobiveni su podaci o vezi podzemnih voda ličkog horizonta s priobalnim izvorima i vruljama od Novljanske Žrnovnice do Karlobaga. Obilježavanjem vode na ponoru u dolini Bakovac, točnije su određeni smjerovi tijekova i ukazano je na prostornu odvojenost pojedinih dijelova slijeva čime je otklonjena sumnja o ulozi velebitske hidrogeološke barijere. Ti rezultati mogu se upotrebljavati kod hidroloških proračuna i zaštite izvora.*

KLJUČNE RIJEČI: *priobalni izvori, krš, obilježavanje podzemnih voda*

Effect of Lika Sinking Rivers on Coastal Springs

ABSTRACT: *The coastal springs from Sv. Juraj to Bačvice give considerable quantities of fresh water with catchment area reaching deep in the hinterland of Mt. Velebit. The location and yield of individual springs is conditioned by geological structure and hydrogeological characteristics of the hinterland terrain. By earlier dyeing on the sinkholes of the Lika and Gacka Rivers the data were obtained on connection between the Lika horizon groundwaters and the coastal springs and submarine springs from Novljanska Žrnovnica to Karlobag. Dyeing of water on the sinkhole in the Bakovac valley enabled more accurate determination of direction of flow and indicated that individual parts of the catchment are separated. As the result, there is no more doubt about the role of the Mt. Velebit hydrogeological barrier. These results may be used in hydrological calculations and protection of springs.*

KEY WORDS: *littoral springs, karst, groundwater dyeing*

Opći podaci

Vodoopskrba primorskog područja od Senja do Karlobaga, te otoka, riješena je vodovodom Hrvatskog primorja - Južni ogranak. Koristi se vodom rijeke Like i Gacke iz sustava HE Senj s vodozahvata Hrmatine. Premda količina kvalitetne pitke vode zadovoljava današnje i buduće potrebe, ne smijemo prestati voditi brigu o očuvanju priobalnih izvora i vrulja, kao dijela zaštite prirode i mogućeg rezervnog izvora za vodoopskrbu. Prije izgradnje vodovoda izvorske vode su služile samo za lokalnu upotrebu s izvora Žrnovnice, Duboke, Donje Klade, Stinice i Bačvice. Značajnije količine vode zahvaćene su na izvorištu "Bačvice", gdje je crpljeno oko 50 l/s, za vodoopskrbu otoka Paga. Planirani istraživački radovi, za zahvat veće količine vode u području Bačvica, prekinuti su zbog izgradnje vodovoda. Na priobalnim izvorima i vruljama od Novljanske Žrnovnice do Bačvica, istječe voda koja ponire u području Like, što je dokazano obilježavanjem ponorskih voda rijeke Like (Turner, 1960.), (Biondić i Goatti, 1976.), rijeke Gacke (Biondić i Goatti, 1974.), te potoka Bakovac (Pavičić i Renić, 1988.). Ti podaci nameću potrebu zaštite vode u krškom podzemlju na cijelom području slijevova rijeka Like i Gacke, posebno od komunalnih i industrijskih otpadnih voda Gospića i Otočca. Izgradnjom hidro-energetskog sustava HE Senj, naročito izgradnjom akumulacijskog jezera Kruščice ($135 \times 10^6 \text{ m}^3$) i otješnjenjem u koritu Gacke, izmijenjeni su prirodni uvjeti otjecanja vode u širem slijevu priobalnih izvora. Planiranom izgradnjom akumulacijskog jezera HE Kosinj ($430 \times 10^6 \text{ m}^3$) u Kosinjskom polju, zahvatile bi se i velike poplavne vode, čime bi se moglo potpuno regulirati otjecanje iz terena uzvodno od ponornog područja.

Hidrogeološka svojstva terena

Na preglednoj hidrogeološkoj karti izdvojeni su osnovni litostratigrafski članovi svrstani u skupine stijena prema hidrogeološkim svojstvima. Podloga za izradu karte bili su podaci Osnovne geološke karte SFRJ, dopunjeni novijim podacima (Pavičić i Fritz, 1975), (Pavičić i dr., 1988) i (Prelogović, 1989).

U geološkoj građi obrađenoga terena prevladavaju karbonatne naslage trijasa, jure i krede, te mlađega paleogena.

S obzirom na vodopropusnost, izdvojene su četiri skupine stijena.

Dobropropusne stijene su vapnenci, vapnenci u izmjeni s dolomitima i vapnenačke breče (T_2^2 , J, K_1). Djelomično nepropusne su Jelar naslage ($Pg_{2,3}$), a djelomično propusne dolomiti (T_3 , J_3). Nepropusne stijene su šejlovi i pješčenjaci (C , T_1 , T_3^1), te tufovi i tufiti (T_2^2) i bazalti. Kvartarne naslage imaju naizmjenična svojstva.

Masiv Velebita predstavlja najviše izdignuti dio Dinarida. Regionalnim, Bakovačkim rasjedom, razdijeljen je u sjeverni i srednji Velebit što, prema Osnovnoj geološkoj karti, odgovara strukturnim jedinicama: Velebit i Senjsko bilo. Strukturnoj jedinici Velebit pripada teren južno od doline Bakovca do Brušana s antiklinalom pružanja gotovo S-J. Jezgru ove antiklinalne strukture grade paleozojske i donjotrijaske klasične naslage.

Strukturna jedinica Senjskog bila izgrađena je iz propusnih mezozojskih naslaga, a nepropusne se paleozojske i donjotrijaske naslage, sjeverno od Bakovačkog rasjeda, nalaze na većoj dubini. Unutar ove strukturne jedinice, koja je s istočne strane omeđena regionalnim rasjedom Vratnik-Lipovo polje-Perušić je nekoliko sekundarnih jedinica reduciranih uzdužnim rasjedima, kojima je teren podijeljen u tektonske blokove. Ističe se blok Senjsko Bilo-Vratnik na istoku, antiklinala Apatišani u sredini

i Kozjak na jugu. Spomenuti tektonski blokovi od primarnog su značaja za raspored i tijek krških podzemnih voda. Od posebnog značaja su neotektonski rasjedi, kojima je to, pretežno karbonatno područje, razlomljeno do velike dubine. To je uvjetovalo duboko okršavanje i razvitak podzemnih kanala s tokovima voda prema moru. Jedan od tih rasjeda je "lomski rasjed" u zoni kojega je nastala vertikalna jama (Lukina jama) dubine preko 1350 m s vodom na 80 m n.m.

Teren izvan masiva Velebita pripada tektonskim jedinicama "Mala Kapela" i "Ličko sredogorje". Ovo propusno relativno pliće okršeno područje tvori niz normalnih bora dinarskog pružanja.

Na temelju hidrogeoloških karakteristika stijena, tektonike, prostornog i hipsometrijskog položaja geoloških tijela i morfologije, određene su hidrogeološke funkcije pojedinih dijelova terena, pa se u razmatranom području razlikuju potpune i nepotpune barijere i propusna područja.

Kompleksna velebitska barijera se poklapa s tektonskom strukturom Velebita, a uvjetovana je položajem nepropusnih vulkanogeno-sedimentnih naslaga paleozojskih klastita i "krovinskih" gornjotrijaskih dolomita kao i klastita uzduž zapadnog krila antiklinale. Položajem ovih naslaga definirana je velebitska hidrogeološka razvodnica.

Nepotpune hidrogeološke barijere Apatišani i Senjsko bilo s komprimiranim slabopropusnim jezgrama antiklinala iz gornjotrijaskih dolomita na dostupnoj dubini, ne sprečavaju tijek voda iz unutrašnjosti prema moru, već ih lokalno usporavaju ili usmjeravaju prema pojedinim izvorima i vruljama.

Propusno područje je najvećim dijelom izgrađeno iz dobropropusnih karbonatnih naslaga. Okršavanje je u zaleđu velebitske barijere relativno plitko, a u krškim poljima pliće od 100 m. U planinskom području izvan velebitske barijere nema površinskih tokova niti izvora. Lokalni povremeni tokovi nisu povezani s temeljnom podzemnom vodom. Kroz ovo propusno planinsko područje teku ponorne vode prema izvorima i vruljama.

Obilježavanje na ponorima i tijek voda

Slijev priobalnih izvora i vrulja od Senja do Bačvica, s obzirom na hidrogeološke karakteristike terena i utjecaj koji pojedini dijelovi slijeva imaju na izdašnost i kvalitetu vode, podijelili smo na nekoliko karakterističnih dijelova:

- a) Slijev rijeke Like i izvorišta Gacke ulazi u širi dio slijeva priobalnih izvora. Rijeka Lika je prije izgradnje akumulacije Kruščica uvirala na brojnim ponorima. Najveći dio vode (s prosječnim godišnjim protokom 27.97 m³/s), (ako izuzmemo gubitke u koritu rijeke i otjecanje preko preljeva kod visokih voda), otječe koritom i dalje tunelom u sustav HE Senj, dakle izvan slijeva priobalnih izvora i vrulja.

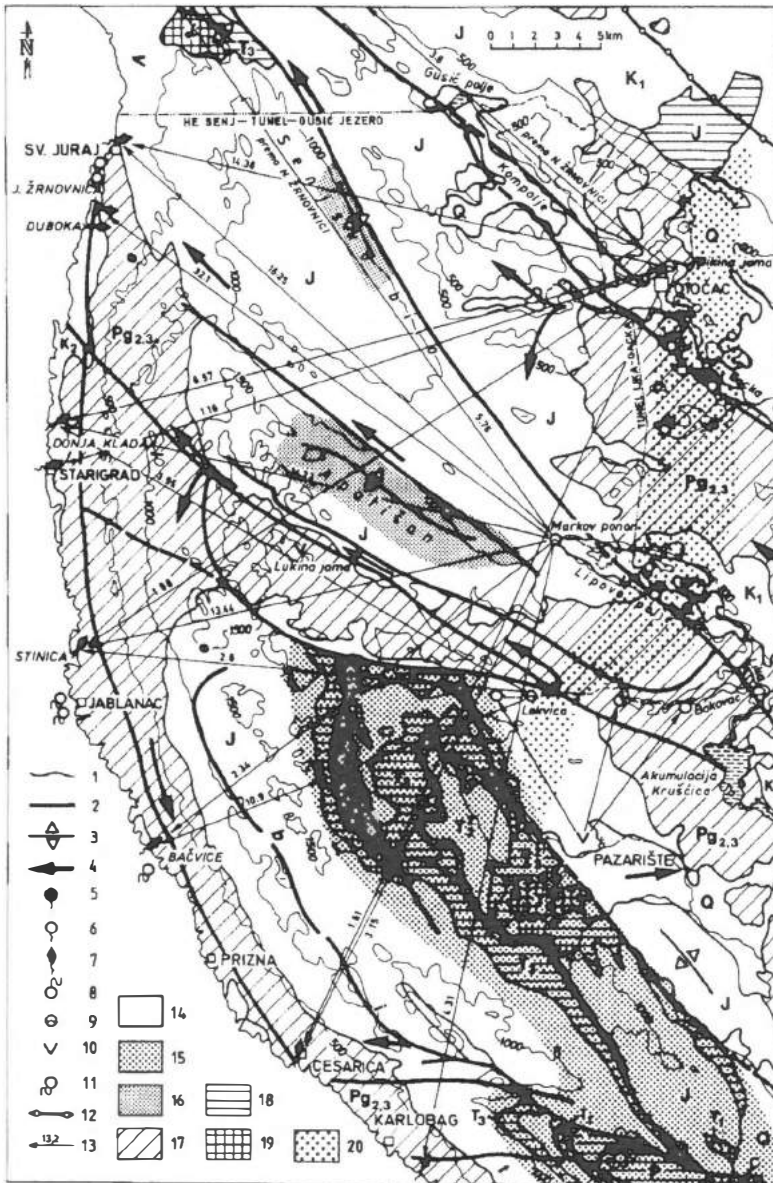
Izvorište rijeke Gacke sastoji se od više jakih krških izvora (prosječni godišnji protok 15.87 m³/s). U prirodnim uvjetima gubici iz korita javljali su se tek nizvodno od Čovića, a intervencijom u koritu rijeke znatno su smanjeni. Danas se najveći dio vode odvodi tunelom prema kompenzacijskom bazenu Gusić polje. Spomenuti slijevovi obuhvaćaju rijeku Liku do mosta u Kosinju, odn. izvorišni dio Gacke do Čovića, gdje su vodotoci rijeka stalni, a podzemne vode su, zbog pozitivne funkcije velebitske barijere, više od njihovih tokova.

- b) Estavelskom i ponorskom području pripadaju srednji dio doline Bakovca, Lipovo polje i Gacko polje nizvodno od utoka Kostelke (izvor Pećine). Osnovna je hidrogeološka karakteristika toga područja, da su podzemne vode najveći dio godine ispod razine rijeke Like i Gacke i da otječu izravno prema moru, bilo uviranjem u ponore ili kroz krški porozni teren. Najveći dio ponornih voda s područja Tisovca otječe u dolinu Bakovca (Turner, 1957.). Posljedica je prestanka velebitske hidrogeološke barijere sjeverno od doline Bakovca, napredak procesa okršavanja od mora prema unutrašnjosti, koji je zahvatio i dolinu Bakovac, što se naročito odrazilo na njezin gornji i srednji dio. Povezano s time, dio vode i iz desnog boka doline ispod njezina dna otječe izravno prema moru. Na ponoru Lokvici, u koritu oko 1000 m nizvodno od izvora Crnog vrela, dio vode ponire. Obilježavanjem ponornih voda potoka Bakovca na ponoru Lokvici (Pavičić i Renić, 1988.) utvrđena je veza s priobalnim izvorima kod Donje Klade, Stinice i Bačvica.

Estavelskoj zoni pripada i Lipovo polje od Kosinjskoga mosta do Selišta, (Pavlin, 1970 i Pavičić i Fritz, 1975.), pa je najveći dio godine tok rijeke Like ovdje "viseći". Dubina okršavanja u estavelskoj zoni je relativno plitka, ne dublja od 50 m. Uzduž korita rijeke Like manja su otjecanja voda u podzemlje izravno prema moru.

Rijeka Gacka je nizvodno od Luka u estavelskom i ponornom području "viseća" i samo za visokih vodostaja u nju dotječu vode s okolnoga terena, a ostali dio godine ona napaja podzemlje, odnosno izvore i vrulje.

- c) Priobalno i planinsko područje između ponorske zone i mora je duboko okršen teren s dobro razrađenim sustavom kanala, kojima podzemne vode otječu na izvore i vrulje. Glavni smjerovi tijeka voda poklapaju se s neotektonskim rasjedima. U ponorskoj zoni, istočno od regionalnog rasjeda Vratnik-Lipovo polje-Perušić, podzemne vode su još relativno visoke, a tek zapadno od rasjeda vode se naglo spuštaju. Veze su utvrđene višekratnim obilježavanjima ponorskih voda. Kod svih tih obilježavanja vršena su opažanja redovno na svim značajnijim priobalnim izvorima od Jurjevske Žrnovnice do uvale Kalića kod Karlobaga. Trasiranjem podzemnih voda Markovoga ponora na Lipovom polju (Turner, 1960.) uspostavljena je izravna veza sa svim priobalnim izvorima od Sv. Jurja do Jablanca. Brze veze su utvrđene s izvorima u Sv. Jurju (10.95 cm/s) i Jablancu (6.84 cm/s), a s izvorima u Starigradu, Donjoj Kladi i vruljom Biluča brzine veza su od 2.4 do 3.2 cm/s. Boja na izvorima Žrnovnice i Duboke pojavila se samo u tragovima. Ponovljenim obilježavanjem iz istoga ponora (Biondić i Goatti, 1976.) opažena je pojava boje na znatno dužem dijelu obale na svim izvorima od Novljanske Žrnovnice do uvale Kalića kod Karlobaga s izuzetno velikim brzinama podzemnih tijekova prema izvorima u Jurjevskoj Žrnovnici (32.10 cm/s), izvoru Bakovcu (16.25 cm/s), te izvorima u Donjoj Kladi (14.22 cm/s) i Stinici (13.44 cm/s). Brzina tijeka prema ostalim izvorima je u rasponu od 1.7 do 5.9 cm/s. Obilježavanjem ponornih voda Gacke na Bikinoj jami (Biondić i Goatti, 1975) boja se pojavila na svim priobalnim izvorima od Novljanske Žrnovnice na sjeveru do izvora Cesarice na jugu. S izvorima od Bakovca do Jurjevske Žrnovnice uspostavljene su brze podzemne veze (od 10.59 do 14.38 cm/s), tijekovi prema izvorima u Dubokoj i Donjoj Kladi nešto su sporiji (7.97, odnosno 6.57 cm/s), a male brzine tijeka su opažene prema izvorima u Starigradu (1.16 cm/s), Stinici (1.18 cm/s) i Cesarici (1.61 cm/s). Analizom gore navedenih rezultata obilježavanja Biondić i Goatti (1976.) osim komentara o očekivanim uvjetima pojave boje, ističu hidrogeološku funkciju Apatišanske antiklinale. Za objašnjenje pojava na izvorima južno od Bačvice, nude se dva rješenja. Prvo je, mogućnost tijeka oko velebitske hidrogeološke barijere i dalje paralelno uz obalu mora do izvora i vrulja, a, kao druga mogućnost, navodi se tijek ispod "navučenog" dijela tektonske jedinice Velebita.



Sl. 1 Hidrogeološka karta. 1 - Geološka granica, 2 - Rasjed, 3 - Antiklinala, 4 - Pretpostavljen smjer tijekom podzemne vode, 5 - Stalan krški izvor, 6 - Povremen krški izvor, 7 - Priobalni izvor, 8 - Estavela, 9 - Ponor, 10 - Jama, 11 - Vruļja, 12 - Podzemna razvodnica, 13 - Ustanovljena podzemna veza s prividnom brzinom, 14 - Propusno područje, 15 - Kompleksna hidrogeološka barijera, 16 - Nepotpuna hidrogeološka barijera, 17 - Djelomično nepropusne stijene, 18 - Djelomično propusne stijene, 19 - Nepropusne stijene, 20 - Estavelska zona.

Fig. 1. Hydrogeological map. 1 - Geological boundary, 2 - Fault, 3 - Anticline, 4 - Assumed groundwater flow direction, 5 - Permanent karst spring, 6 - Intermittend karst spring, 7 - Coastal spring, 8 - Estavelle, 9 - Ponor (swallow hole), 10 - Jama (karst shaft), 11 - Submarine spring, 12 - Groundwater divide, 13 - Underground hydraulic connection and apparent flow velocity, 14 - Permeable area, 15 - Complex hydrogeological barrier, 16 - Partial hydrogeological barrier, 17 - Partly impermeable rocks, 18 - Partly permeable rocks, 19 - Impermeable rocks, 20 - Zone of estavelles.

U sklopu istražnih radova za idejni projekt HE Kosinj, a uvažavajući gore navedeno, provedeni su radovi za provjeru funkcije velebitske hidrogeološke barijere. U tu svrhu izvedeno je obilježavanje podzemnih tijekova iz ponornog područja u gornjem dijelu doline Bakovca. Ubačeno je 90 kg uranina u aktivni ponor Lokvicu 31. ožujka 1988. Opažanje je provedeno na svim izvorima od Jurjevske Žrnovnice do uvale Kalić. Utvrđena je brza veza ponornih voda s izvorom "Bačvica" (10.9 cm/s), dok brzina tijeka prema Stinici iznosi 2.6 cm/s, a prema Donjoj Kladi 3.95 cm/s. Na ostalim opažanim izvorima boja se nije pojavila.

Zaključak

Izgradnjom hidroenergetskog sustava HE Senj zahvaćena je glavnina voda iz slijevnog područja rijeka Like i Gacke uzvodno od zone estavela što je utjecalo na promjenu izdašnosti i kvalitete vode na izvorima i vruljama. Obilježavanjem vode na ponoru u dolini Bakovcu, potvrđene su ranije pretpostavke o povezanosti ponora uz rijeke Liku i Gacku s izvorima kroz kanale uzduž rasjeda. Otklonjena je sumnja mogućih podzemnih veza kroz područje velebitske hidrogeološke barijere. Podzemne vode iz područja Bakovca otječu uzduž lomskog rasjeda, a uspostavljena podzemna veza samo s izvorima južno od Klade potvrđuje hidrogeološku funkciju barijere Apatišani. Tijek prema Bačvici odvija se uzdužnim rasjedom paralelnim s obalom. Utjecaj voda iz krških polja u zaleđu Velebita i ponornih voda rijeka Like i Gacke (nakon njihovog zahvaćanja u sustav HE Senj) teško je procijeniti zbog veličine međuslijeva u Velebitu. Uz gotovo nemoguću točniju kontrolu istjecanja na izvorima, a pogotovo na vruljama, moramo se zadovoljiti točnošću na razini procjene pri ocjeni utjecaja spomenutih ponornih voda na izdašnost izvora i vrulja. Buduća akumulacija HE Kosinj bi svojim volumenom ($430 \times 10^6 \text{ m}^3$) zahvatila velike vode koje danas preljevom u Selištu odlaze u ponore. Ova akumulacija djelovala bi pozitivno, jer bi se kod malih voda vjerojatno povećao dotok u podzemlje. Negativan utjecaj imalo bi zahvaćanje voda Tisovca, koje danas u najvećoj mjeri otječu podzemljem na izvore od Klade do Bačvica.

Literatura

- Bahun, S & Fritz, F. (1975.): Hidrogeološke specifičnosti Jelar-naslaga. Geol. vjesnik, 28, 345.-355., Zagreb.
- Biondić, B. (1981.): Hidrogeologija Like i južnog dijela Hrvatskog primorja. Disertacija. Prirodoslovno-matematički fakultet, 1.-214., Zagreb.
- Biondić, B. & Goatti, V. (1975.): Bojenje ponora Gacke kod Otočca, hidrogeološki radovi 1974. Fond. struč. dok. Geol. zavoda br. 30/75, Zagreb.
- Biondić, B. & Goatti, V. (1976.): Hidrogeološke prilike ponornih zona rijeke Like i Gacke i njihove podzemne veze s izvorima u Hrvatskom primorju. 4. Jugosl. simp. hidrogeol. inž. geol., knj. 1, 1.-14., Skopje.
- Pavičić, A. & Fritz, F. (1975.): HE Senj. Akumulacija Kosinj. Geološki i hidrogeološki odnosi. Fond struč. dok. Inst. geol. istraž. 5769, Zagreb.
- Pavičić, A. & Renić, A. (1988.): Akumulacijsko jezero Kosinj HE Otočac. Idejni projekt. Bojenje podzemnih voda. Fond struč. dok. Inst. geol. istraž., Zagreb.
- Pavičić, A., Kapelj, J. & Renić, A. (1988.): Akumulacijsko jezero Kosinj s HE Kosinj i HE Otočac. Idejni projekt. Knjiga 2. Fond struč. dok. Inst. geol. istraž. 146, Zagreb.

-
- Pavlin, B. (1970.): Kruščica storage basin in the cavernous Karst area. Comision Internationale des Grandes Barrages. Dixieme Congres des Grands Barrages, 209-224, Montreal.
- Prelogović, E. (1989.): Neotektonski pokreti u području sjevernog Velebita i dijela Like. Geol. vjesnik 42, 133.-147., Zagreb.
- Turner, S. (1958.): Bojenje Vlatkovića jame u Donjem Pazarištu. Arhiv HMZ, br. 41., Zagreb.
- Turner, S. (1960.): Bojenje Markovog ponora u Lipovom polju. Arhiv HMZ, br. 55, Zagreb.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Božidar Biondić, Franjo Dukarić, Ranko Biondić

R 4-03

Utjecaj mora na priobalne krške vodonosnike

SAŽETAK: *Vrlo labilna ravnoteža slatke i slane vode u priobalnim područjima obično se narušava prekomjernom eksploatacijom u ljetnim sušnim razdobljima. Sve su to uglavnom poznate stvari i naši stručnjaci se pokušavaju boriti s tim problemom uglavnom presijecanjem mjesta na kojima je moguće prodiranje mora. Načinjeno je više injekcijskih zavjesa, koje su uglavnom dale polovične ili slabe rezultate. Slična su iskustva i u zemljama, koje imaju dugu tradiciju tih zahvata. Potaknuti teškoćom rješavanja te problematike i brojnim neuspjelim zahvatima u svijetu IAH je organizirao brojne SWIM (Salt Water Intrusion Meetings) sastanke i 1991. godine tiska odabrane referate s tih sastanaka. Objavljena iskustva i direktne konzultacije pomogli su nam u programiranju istraživanja na izvorima u Bakarskom zaljevu, Novljanskoj Žrnovnici i drugdje u našoj zemlji, gdje smo sudjelovali u istraživačkim projektima. Rezultati dugotrajnog opažanja zaslanjivanja, tijekom ljetnih sušnih razdoblja, omogućili su nam identifikaciju specifične dinamike i odnosa slatkovodnog i morskog sustava. U prvom redu su to kontrole dubokih dijelova vodonosnika, gdje se more zadržava i u vrijeme eksploatacije potpuno slatke vode na izvorima.*

KLJUČNE RIJEČI: *krški vodonosnik, odnos slane i slatke vode, precrcpljivanje, opažanje dubokih zona vodonosnika*

Effect of Sea Water Intrusion on Coastal Karst Aquifers

ABSTRACT: *A very labile balance of fresh and salt water in the littoral region is usually disturbed by excessive withdrawal during the dry summer periods. These are generally known facts and our experts tried to cope with the issue mainly by blocking the potential points of sea intrusion. Several grout curtains were constructed which generally gave fair or poor results. The practice of other countries in this type of projects is similar. Stimulated by difficulties in resolving these problems, and a number of failed projects in the world, IAH organized numerous SWIM's (Salt Water Intrusion Meetings). The selected papers from these meeting were published in 1991. The published experience and additional consultations helped us prepare a program of investigations for the springs in Bakar bay, Novljanska Žrnovnica and other locations in our country, where We participated in investigation projects. The results of long-term observation of saliferation during the dry summer periods enabled us to identify specific dynamics and relationship between the fresh and sea water system. These are primarily controls of the deep aquifer sections where the sea remains even when the water at springs is completely fresh.*

KEY WORDS: *karst aquifer, fresh and salt water relationship, overpumping, deep aquifer sections monitoring*

Uvod

Rast gradova, razvoj industrije i lučkih postrojenja, razvoj turizma i drugih aktivnosti u drugoj polovici ovog stoljeća u našem Jadranskom prostoru, uzrok su naglog porasta potrebe za pitkom i tehnološkom vodom. Postojeći prirodni izvori nisu više dovoljni za vodoopskrbu Jadranskog područja. Posebno je problem pitke vode izražen od početka Domovinskog rata.

Slivovi glavnih izvora i vodotoka u našem obalnom području razvijeni su u karbonatnom krškom masivu Dinarida, kojima je struktura generalnog prostiranja paralelna s obalom. Na mjestima, gdje je more dublje usječeno u kopno i u graničnim područjima velikih strukturnih formi, krški vodonosnici su bočno otvoreni prema moru s mogućnošću direktnih prodora mora duboko u kopneni prostor. Jasno je, da to vrijedi i za otoke, gdje su pretežito lokalni slivovi pod znatnim utjecajem mora. Vrlo labilna ravnoteža slane i slatke vode obično se narušava prekomjernom eksploatacijom u ljetnim sušnim razdobljima i to stvara ogromne probleme u nepovezanim vodoopskrbnim sustavima duž obalnog područja, pa vrlo često dolazi do prekida vodoopskrbe pojedinih gradova ili čak regija, kao što je to bio slučaj u zadarsko-biogradskom području.

Iskustva hrvatskih stručnjaka u istraživanjima i pokušajima sanacije prodora mora u priobalne krške vodonosnike su znatna, kao i naših susjeda na Mediteranu, koje muče slični problemi.

Iz pregledne skice je vidljivo da su na području Hrvatske istraživani brojni izvori i izvorišne zone, od Istre do Dubrovnika, pa čak i Boke kotorske. Ne možemo se baš pohvaliti nekim većim uspješnim zahvatima. Efekti su bili uglavnom vrlo mali ili gotovo bez ikakova utjecaja na prirodne uvjete, a slična iskustva imale su i ostale zemlje, koje također imaju dugu tradiciju tih istraživanja i pokušaja sanacijskih zahvata.



1. Izvorište Blaž
2. Bubić jama
3. Bakarski izvori
4. Novljanska Žrnovnica
5. Izvorište Bačvice
6. Izvorište Golubinka
7. Bokanjačko Blato
8. Vransko jezero
9. Izvorište Jaruga
10. Izvor Pantan
11. Gradačka Žrnovnica
12. Kaptaza u Stonu
13. Zdenci u Slanom

Slika 1. Područja priobalnih podzemnovodnih istraživanja, zahvata i sanacija
Fig. 1. Sites of coastal groundwater exploration abstraction and remedial work

Potaknuti teškoćom rješavanja te problematike i brojnim neuspjelim zahvatima u svijetu, International Association of Hydrogeologists (IAH) organizirala je brojne SWIM sastanke (Salt Water Intrusion Meetings) i 1991. godine izdala knjigu odabranih radova, koji bitno utječu na promjenu pristupa istraživanju priobalnih područja s izrazitim efektima prodora morske vode. Za nas su posebno interesantna iskustva naših susjeda Talijana (Cotecchia, Fidelibus, Tulipano, 1991.), koji su radili na krškom području poluotoka Salento s druge strane Jadrana. Objavljeni radovi i osobni kontakti bili su od izuzetnog značaja za programiranje i provođenje istraživanja na povremeno zaslanjenim kaptažnim objektima u Bakarskom zaljevu (Perilo, Dobrica) i Novljanskoj Žrnovnici, ali i programiranje istraživanja u širem zadarskom području. Naša je namjera da, na primjeru istraživanja kaptažnog zahvata Perilo u Bakru, pokušamo utjecati na ostale istraživače u Hrvatskoj, koji se bave tom problematikom, da barem djelomičnu izmijene dosadašnji pristup u istraživačkim i sanacijskim projektima.

Istraživači u Hrvatskoj se teoretski drže postavki Gyben-Herzbergovog zakona temeljenog na razlici u gustoći slatke i slane vode, kojegasu razradili istraživači na našem prostoru tijekom posljednjih tridesetak godina. Interesantna su razmišljanja Breznika (1978.), koji krške vodonosnike dijeli na izotropne i anizotropne. Vodonosnici dinarskog krša su prema tome razmišljanju anizotropne propusnosti i u takovim uvjetima moguća su dva načina kontaminacije krškoga vodonosnika. Prvi je direktno kroz vrulje, odnosno podmorske izvore, a drugi, koji može za naše prilike biti posebno interesantan, unutar krške mase. Malo je dosadašnjih radova, koji su do teoretskih postavki dolazili opažanjem, naročito opažanjem dubljih dijelova krških vodonosnika. Rezultati istraživanja kaptažnog objekta Perilo u Bakarskom zaljevu mogu pritom biti interesantni, jer su upravo projektirani za istraživanje dubljih dijelova zone istjecanja, odnosno potencijalne zone miješanja slatke i slane vode u uvjetima crpljenja.

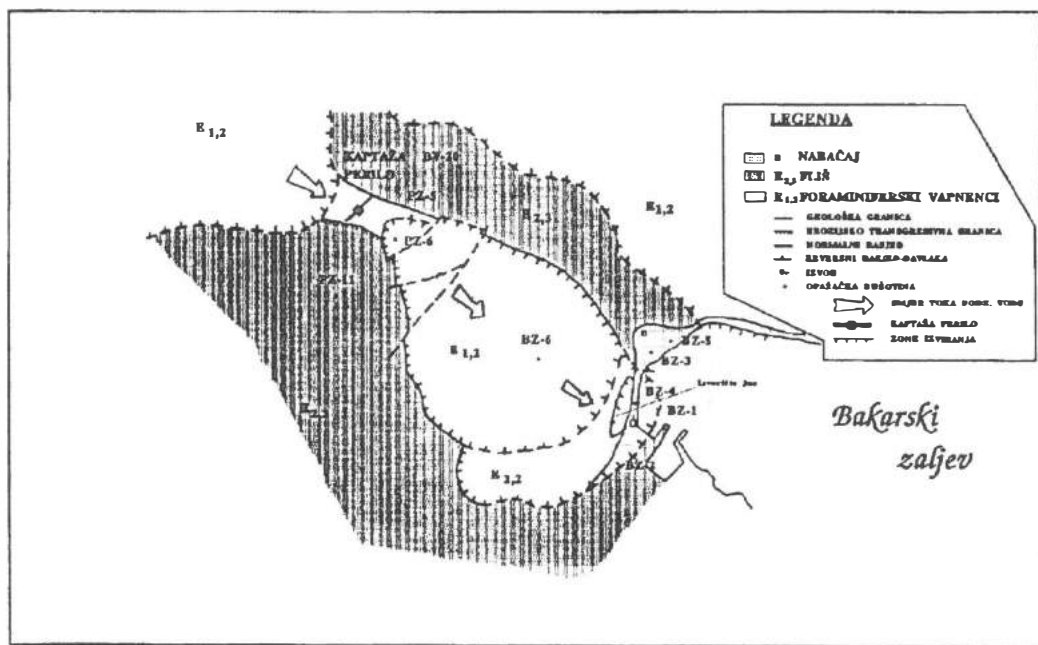
Hidrogeološki opis kaptažnog zahvata Perilo u Bakarskom zaljevu

Kaptažnim objektom Perilo zahvaćene su vode izvora Jaz i Perilo u gradu Bakru. Objekt je smješten s uzvodne strane grada, a sastoji se od vertikalnog okna dubine 58,35 m (-1,5 mnv), taložnika do -2,5 mnv i horizontalne drenažne galerije dužine 55 m. Horizontalna galerija presijeca ljusku dobro vodopropusnih vapnenaca unutar vodonepropusnih naslaga fliša, kroz koju je utvrđen dotok podzemne vode do izvora u Bakru brojnim istražnim bušotinama i trasiranjima podzemne vode kroz te bušotine. Mjerene količine istjecanja tih izvora u ljetnim sušnim razdobljima upućivale su na moguću zahvat vode do 150 l/s, međutim, probno crpljenje objekta napravljeno 1979. godine (Vulić i sur.) utvrdilo je količinu od 240 l/s bez porasta saliniteta iznad standarda za pitke vode, što je i osnovna količina dosadašnje eksploatacije na tom objektu.

Treba istaći da se već u vrijeme projektiranja objekta razmišljalo o mogućem utjecaju mora u zoni crpljenja, pa su načinjena istraživanja s nizvodne strane objekta u funkciji projekta injekcijske zavjese. Taj projekt nikada nije realiziran, a kaptaža je krajem ljeta 1985 godine završena i pripremljena za eksploataciju. Već je istog ljeta kaptaža vrlo jako zaslanila (2500 mg/l Cl) i bila je izvan pogona do kraja vrlo dugog sušnog razdoblja. Zaslanjenje kapataže se nekoliko puta ponavljalo, pa su 1992 godine ponovo aktivirana hidrogeološka istraživanja, u funkciji zaštite od prodora mora.

Već od samog početka napušten je koncept plitke injekcijske zavjese s nizvodne strane kaptažnog zahvata, jer takav zahvat nije imao nikakove šanse efikasno zaštititi crpilište. Usmjerali smo se na definiranje geometrije i strukture vodonosnika na osnovi detaljnih hidrogeoloških i geofizičkih istraživanja, a istražno bušenje je, osim direktne provjere dobivenih rezultata, bilo u funkciji definiranja hidrokemijskih i hidrodinamičkih elemenata vodonosnika u vrijeme mogućih zaslanjenja tijekom ljetnih sušnih razdoblja.

Pri izradi detaljne hidrogeološke karte težište je stavljeno na strukturno-tektonske elemente i obradu mikrotektonskih parametara vodonosnika. Rezultat je u velikoj mjeri promijenio razmišljanja o građi neposredne zone istjecanja Bakarskih izvora. Zaključeno je da je karbonatna stijena, na kojoj je izgrađen grad Bakar, gravitacijski kliznuti blok, odnosno erozijski ostatak tog bloka, koji prekriva jednu ljusku dobro vodopropusnih vapnenaca unutar fliša, glavnog provodnika podzemne vode prema izvorima Jaz i Perilo na obali mora. U toj ljusci vapnenaca izgrađena je i kaptažna galerija Perilo. Kliznuti gravitacijski blok, prema tome, predstavlja masku stvarnih geoloških odnosa u podzemlju i sreća je za daljnje aktivnosti na tom prostoru, da je taj blok ograničenog prostiranja, pa je podinska struktura otvorena, kako na mjestu kaptaže, tako i u zoni izviranja na obali mora. U cijeli strukturni sklop treba uvesti poprečno presijecanje, odnosno horizontalno zakretanje te strukture s reversnim efektima u zoni izviranja. Sva ta tektonska zbivanja direktno utječu na odnos vodopropusnih vapnenaca i vodonepropusnog fliša, prekrivenih izvorskim i marinskim sedimentima.



Slika 2. Zone izviranja u Bakru

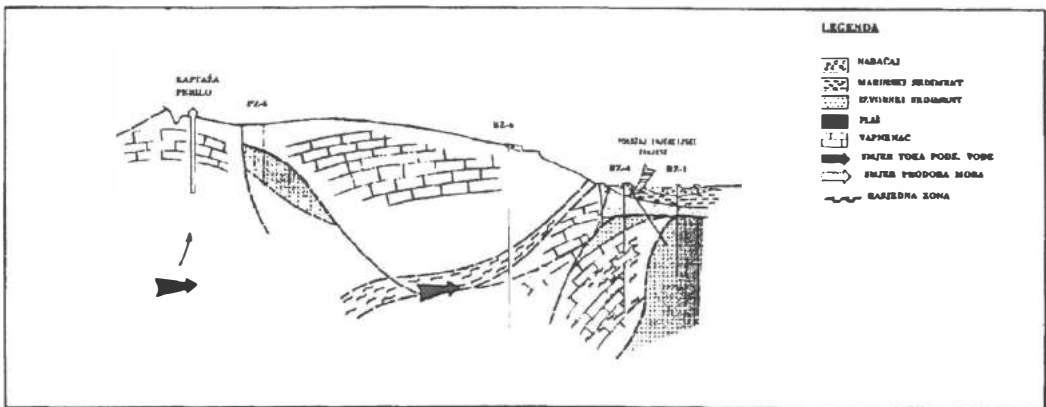
Fig. 2. Zones of discharge at the town of Bakar

Vodonepropusne naslage fliša uglavnom obrubljuju vapnence, pa je istjecanje koncentrirano na vrlo uzak prostor obalne zone. Već sam pogled na hidrogeološku skicu pokazuje da je bilo izuzetno značajno definirati položaj fliša u zoni presijecanja vodonosne ljuske vapnenaca, zbog odredbe graničnih uvjeta zamišljenog sanacijskog zahvata.

Geofizička istraživanja su, u sklopu toga projekta, dala dobre rezultate (MOHO, Zagreb) u definiranju geometrije i indikacije funkcioniranja sustava. Vrlo niski geo-električni otpori (0,8 do 3,5 om) uputili su već u početnoj istraživačkoj fazi, na prisutnost mora u vodonosniku, čak i onda kada je izvorska voda bila potpuno slatka. To je bio jedan od važnijih elemenata za usmjeravanje daljnjih istraživačkih aktivnosti.

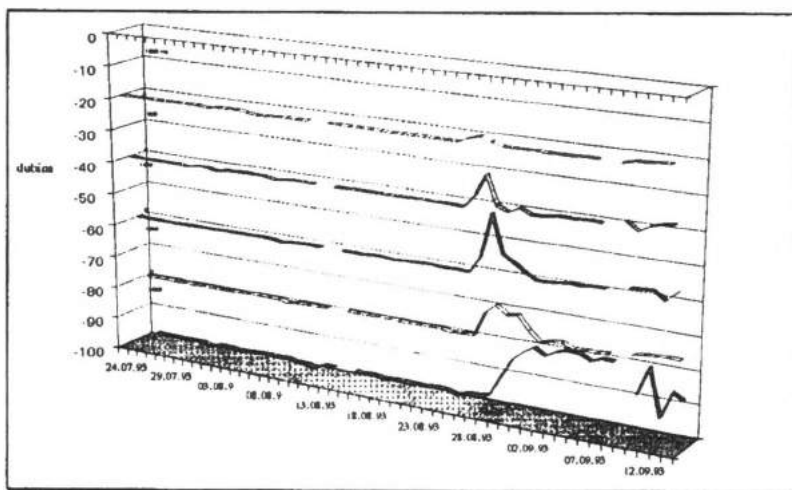
Istražno bušenje usmjereno je na rješavanje dva osnovna problema. Prvi je raspored stijena različitih hidrogeoloških karakteristika u zoni izviranja - granični uvjeti sanacijskog zahvata, a drugi izuzetno značajno opažanje promjena u vodonosniku tijekom ljetnih sušnih razdoblja.

Uzdužni hidrogeološki profil na najbolji način prikazuje odnose vodopropusnih i vodonepropusnih naslaga u vodonosniku. Za objašnjenje odnosa more - vodonosnik odlučujući su strukturno-tektonski odnosi i genetski razvoj toga područja tijekom kvartara, jer je današnji raspored stijena i nanosa rezultat tih odnosa. Pojava izviranja na mjestu današnjeg izvora Jaz seže čak u vrijeme početka kvartarnog doba, u vrijeme kada je morska razina bila daleko niža od današnje. Bakarski zaljev bio je izdužena suha dolina, a morska obala negdje na visini Dugog otoka. Erozijski procesi su u prvoj fazi razvoja produbili korito vodotoka do razine oko 25 m ispod današnje razine mora. Postupno dizanje morske razine uzrok je smanjenja erozijskih procesa i akumulacije izvorskog nanosa u erodiranoj udolini vodotoka. Ispunjavanjem Bakarske depresije morem, izvorskom nanosu se pomalo priključuje i marinski sediment, pa je gornjih desetak metara nanosa jače zaglinjen i pun organskog materijala. Hidrogeološkim istraživanjima i istražnim bušotinama je utvrđen raspored naslaga prikazan na profilu (Slika 3). U ocjeni vodopropusnosti treba istaći da su vapnenci vodopropusni, fliš u cjelini vodonepropusan, a izvorski i marinski nanos je takove vodopropusnosti, da ne omogućava koncentrirano istjecanje iz krškog vodonosnika, pa nema vrulja, ali istovremeno ne predstavlja potpuni izolator odnosa slatke i slane vode, što na najbolji način pokazuju opažanja tijekom sušnoga razdoblja.



Slika 3. Uzdužni hidrogeološki presjek
Fig. 3. Longitudinal hydrogeological cross-section

Rezultati opažanja vodonosnika

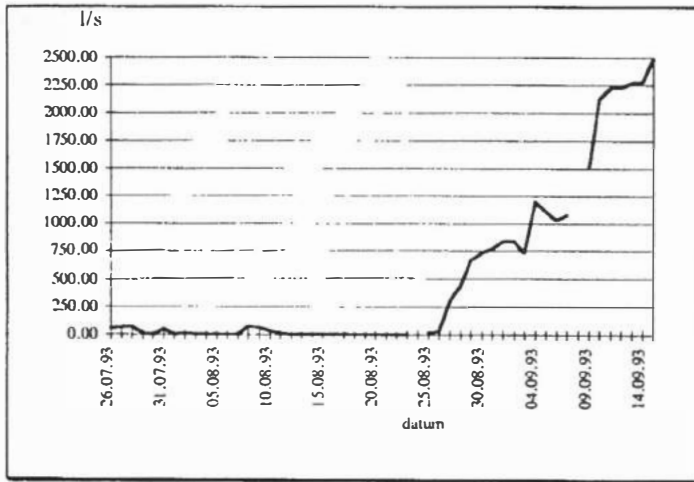


Slika 4. Salinitet podzemne vode u bušotini BZ-4
 Fig. 4. Groundwater salinity in the borehole BZ-4

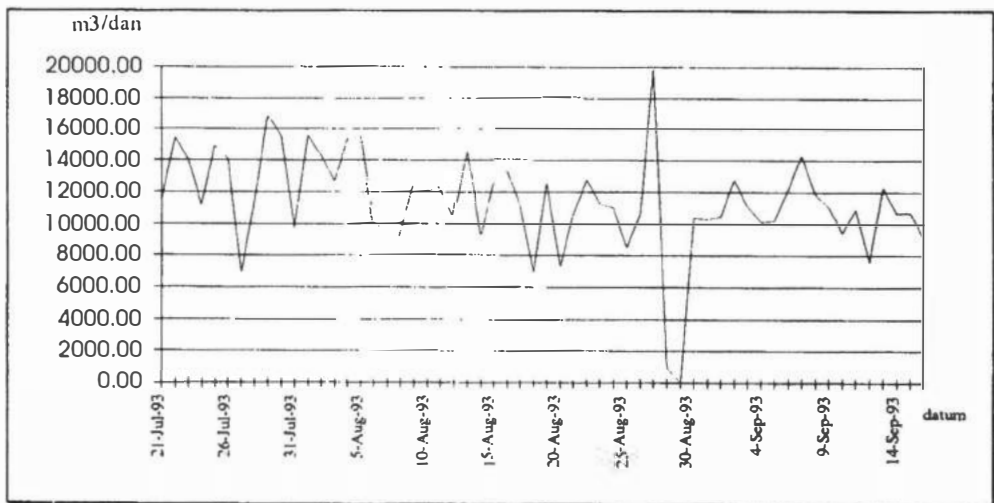
U zoni mogućih prodora mora izbušeno je više istražnih bušotina za dubinsko praćenje ponašanja vodonosnika, međutim, BZ-4 na samoj obali mora najslikovitije odaje ponašanje vodonosnika tijekom sušnog razdoblja. Sušno razdoblje 1993. godine počelo je vrlo rano u proljeće, pa su ljeto i visoke ljetne temperature dočekani s vrlo niskim dotocima vode na izvore. Prva indicacija mogućeg zaslanjenja zapažena je na bušotini BZ-4 između 6. i 8. kolovoza (porast saliniteta na dubini 90 m). Oborine 8. kolovoza podigle su dotoke i potpuno osladile cijeli sustav. Međutim, protoke su se vrlo brzo smanjile i stanje suše se nastavilo sve do 25. kolovoza, kada se zbog oborina preljevne količine na izvorima opet dižu, ali uprkos tomu noću se između 27. i 28. kolovoza cijeli sustav zaslanjuje.

Teško je jednoznačno razjasniti zašto se tako jako zaslanjenje dogodilo upravo u doba prvog jačeg porasta preljevnih količina vode na izvorima. U svakom slučaju treba se prisjetiti da je morska voda stalno prisutna u dubokim dijelovima vodonosnika, što je potvrđeno geofizičkim istraživanjima i opažanjima. Mjerene razine vode u bušotinama ne prelaze vrijednosti od 1 m površ razine mora, osim na samoj kaptaži, koja se nalazi u uvjetima bez crpljenja oko 2 m, ali se crpljenjem snizuje na 0,5 m iznad razine mora. Uvrštavanjem tih vrijednosti u Gyben-Herzbergov zakon izvorište bi se trebalo daleko ranije zaslaniti, pa prema tome možemo reći da klasično poimanje odnosa slatke i slane vode, zbog dinamičkih uvjeta, treba uvelike izmijeniti. Međutim, interesantno je istaknuti da je razlog slomu cijelog vodonosnog sustava bilo maksimalno crpljenje kapatažnog objekta Perila noću između 27. i 28. kolovoza, odnosno maksimalno precrcpljivanje raspoloživih rezervi slatke vode. To precrcpljivanje bilo je uzrok prodora konusa zaslanjene vode iz zone miješanja u dubokom podzemlju prema kaptaži.

Zaslanjenje je zahvatilo praktički cijeli vodonosnik, međutim režim zaslanjenja nije imao očekivani razvoj. Dok je između 6. i 7. kolovoza, u uvjetima potpuno niskih vodostaja, postupno rasla razina zaslanjenosti od najdubljih dijelova vodonosnika prema površini, noću između 27. i 28. kolovoza nastupio je nagli slom cijelog slatkovodnog sustava.



Slika 5. Istjecanje na izvorištu Jaz
Fig. 5. Discharge from the Jaz group of springs



Slika 6. Crpne količine zahvata Perila
Fig. 6. Pumped discharge from the Perilo abstraction structure

Prvo je zaslanila kaptaza Perilo, a to znači da je zbog pojačanog crpljenja povučena zona miješanja slatke i slane vode iz dubljih dijelova vodonosnika prema površini, odnosno prema kaptazi, čime je stvoren podtlak u cijelom vodonosniku. Takvo stanje izazvalo je reakciju cijelog sustava, koja se očituje prodorom zaslanjene morske vode kroz zonu istjecanja na obali mora. Maksimalni prodor mora (1450 mg/l Cl) registriran je na buštini BZ-4 na dubini 60 m ispod razine mora tek 29. kolovoza, dakle gotovo 2 dana nakon prvog zapaženog zaslanjenja u kaptazi, u vrijeme kada se na kaptazi Perilu salinitet već smanjivao zbog nailaska veće količine slatke vode iz zaleđa. Izvorište Jaz se također zaslanilo istovremeno s kaptazom, ali daleko nižeg intenziteta i bez prethodne naznake. Naime, kaptaza je već dan prije imala blago povišeni sadržaj

klorida. To je gotovo siguran pokazatelj da prodor mora nije išao direktno preko izvora. Izvor Lovrijenac, koji izvire iz bloka vapnenca, odvojenog od Bakarskog vodonosnika flišem, nije reagirao na zaslanjenje Bakarskog vodonosnika, pa se može govoriti o potpuno odvojenom sustavu.

Intruzija mora kroz zonu istjecanja izaziva više pitanja. U prvom redu je to registrirani prodor kroz čelo izvorišne zone na dubini od 40 do 80 m ispod razine mora i istovremeno nedostatak vrulja u tom dijelu zaljeva. Objašnjenje treba tražiti u difuznoj ravnoteži slatke i morske vode kroz polupropusni medij izvorskog i marinskog sedimenta i u prostiranju dobro vodopropusnih vapnenaca u podlozi tih naslaga, koje omogućavaju prihvata i odljev ograničenih količina vode krškog vodonosnika. Druga mogućnost prodora mora je kroz plitku zonu - nabačaj na naslagama fliša.

Zaključak

Možemo zaključiti da je zaslanjenje kaptaznog objekta nastalo preklapanjem više negativnih elemenata. U prvom redu je to ekstremno dugotrajna suša i precrpljivanje vodonosnika, kojima je poremećena ravnoteža slatke i slane vode u vodonosniku. Osim toga, maksimalni utjecaj mora zabilježen je u vrijeme visokih plimnih valova, što je utvrđeno kontrolom mareografa u Bakarskom zaljevu. U takvo već poremećeno ravnotežno stanje nailazi prvi vodni val, koji svojom dinamikom izaziva širenje zone miješanja, da bi konačno maksimalno crpljenje izazvalo izdizanje te zone do u sam vrh vodonosnika. Na taj način maksimalni efekti zaslanjenja nastali su na mjestu same kaptaze. Na tako poremećeno stanje, vodonosnik reagira usisavanjem određene količine mora do uspostave novoga ravnotežnog stanja. Tijekom ljetnog sušnog razdoblja vrlo detaljno su opažane hidrokemijske i dinamičke promjene u vodonosniku, međutim, šteta je da u razdoblju opažanja, odnosno prodora mora, nije bilo moguće ispitivanjem prirodnih izotopa odrediti starost vode u sustavu, prvenstveno morske vode, jer bi na taj način bili daleko bliže u razmišljanje o dinamici morske vode u krškom priobalnom vodonosniku. Upravo je dinamika morske vode odlučujuća za odabir konceptijskog rješenja sanacijskog zahvata.

Zaslanjenje Bakarskoga vodonosnika događalo se već nekoliko puta tijekom posljednjih desetak godina i ne treba očekivati da se bilo što može promijeniti bez intervencije u prirodni sustav. Prema našem mišljenju, ta intervencija treba osigurati dvije stvari. Prvo je kontrola izdizanja zone miješanja slatke i slane vode prema kaptaznom objektu Perilu, a drugo, sprečavanje mogućnost prodora slane vode u vodonosnik.

Kontrolu izdizanja moguće je postići izvedbom jedne bušotine dubine do 250 m uz samu kaptazu Perilo, u kojoj treba ugraditi senzore za kontrolu sadržaja klorida na različitim dubinama i automatski povezati za pojedine segmente crpnih uređaja. Optimalan položaj senzora moguće je odrediti ispitivanjima. Tako ugrađeni kontrolni sustav omogućio bio racionalnu upotrebu kaptaze tijekom ljetnih sušnih razdoblja uz izbjegavanje efekata zaslanjenja.

Sprečavanje mogućnosti prodora slane vode u vodonosnik je daleko kompleksniji i skuplji zahvat. Potrebno je injekcijskom zavjesom zabrtviti prostore, kojima je registriran prodor zaslanjene vode u duboko krško podzemlje. Izrada injekcijske zavjese predviđena je u tri etape, radi mogućih ocjena efikasnosti pojedinih etapa i racionalnosti izvođenja. Ne smatramo da bi uspješnim brtvljenjem vodonosnika u kratkom vremenu postigli željene efekte, jer bi promjena dinamičkih uvjeta u vodonosniku

zahtijevala više ciklusa visokih vodnih valova i postepenog ispunjavanja cijeloga vodonosnika slatkom vodom.

Što možemo na osnovi naših iskustava preporučiti istraživačima? U prvom redu, istraživanja dubljih zona ugroženih dijelova krških vodonosnika, jer pretpostavljamo da i u drugim područjima, a naročito u krškim vodonosnicima koji su širokim frontom otvoreni prema moru, slana morska voda, čak i u uvjetima potpuno slatkih izvora, ispunjava duboke dijelove vodonosnika. Sljedeći element je dužina zadržavanja morske vode u krškom vodonosniku i promjene položaja zona miješanja u uvjetima bitnih smanjenja dotoka slatke vode, odnosno potrebna je dubinska kontrola hidrodinamičkih i kemijskih promjena podzemne vode, jednako kao i kontrola crpljenja slatke vode na crpilištima. I, konačno, veliku pozornost treba posvetiti regionalnim odnosima, jer koncentracija na samo najužu zonu istjecanja, često znači usmjerenu koncepciju s visokom mogućnošću pogreške u projektu sanacijskih zahvata.

Literatura

- Biondić B. i Goatti V. (1979.) : Zaštitne zone izvorišta pitke vode općine Rijeka. Fond str. dok. IGI, Zagreb
- Biondić B. (1985.) : Dependence of Karst Waterflow of Croatian Littoral upon its Geologic Structure. V. Intern. Symp. on Groundwater, IAH, Taormina
- Biondić B. i Goatti V. (1986.) : Protection of Groundwater in Karst Areas of Croatian Littoral, 19th Congress IAH, Karlove Vary
- Biondić B. i Dukarić F. (1993.) : Vodni resursi područja Rijeke, Hrvatske vode br. 3, str. 185.-190., Zagreb
- Biondić B. (1994.) : Zaštita kaptaže Perilo u Bakru od prodora mora, Fond str. dok. IGI, Zagreb
- Bonacci O. (1987.) : Karst Hydrology. Springer-Verlag, Berlin
- Breznik M. (1973.) : Nastanke zaslanjenih kraških izvorov in njihova sanacija, Geol. Razprave in Poročila 16, str. 83.-186., Ljubljana
- Cotecchia V, Fidelibus D. i Tulipano L. (1991.) : Phenomena Related to the Variation of Equilibria between Fresh and Salt Water in the Coastal Karst-Carbonate Aquifer of the Salento Peninsula, SWIM Papers IAH, str.9.-16., Hannover
- Franić D. (1964.) : Vodoistražni radovi u Bakru - zaleđe Perila i Dobrice. Fond str. dok. Geotehnike, Zagreb
- Vulić Ž. (1980.) : Kaptaža Perilo, Bakar - hidrogeološki radovi. Fond. str. dok. IGI, Zagreb



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Ivan Slišković

R 4-04

Hidrogeologija Hercegovine i utjecaj akumulacija na režim izvora

SAŽETAK: U referatu su prikazani rezultati hidrogeoloških istraživanja u području visokoga krša jugozapadne Hercegovine. Na priloženoj hidrogeološkoj karti prikazane su funkcije stijena. Izdvojene su potpune i nepotpune barijere, te područja izrazite i slabije propusnosti. Rezultati su navedenih istraživanja i ispitivanja:

- povećala se izdašnosti na preljevnim izvorim anakon izgradnje akumulacija u njihovu zaleđu (Salakovac, Tribistovo, Ričina); Prirodna jezera i povremeno plavljenja polja, također utječu na režim krških izvora (Blidinje jezero, Mostarsko blato, Imotsko i Čitlučko polje).

Određena su perspektivna područja za istraživanje podzemnih voda na udaljenim tereni-ma od zona istjecanja. Na temelju geološko-hidrogeoloških, hidrokemijskih i geofizičkih metoda istraživanja predloženi su optimalni načini – za otkriće pitkih podzemnih voda u dubokom i dalekom zaleđu bezvodnih područja.

KLJUČNE RIJEČI: hidrogeologija krša, vrelo, barijera, vodonosnik, korelacija, recesija.

Herzegovina Hydrogeology and Impact of Reservoirs on Spring Regimes

ABSTRACT: The paper describes the results of hydrogeological investigation in the region of high karst of the NW Herzegovina. The enclosed hydrogeological map shows the function of rocks. The permeable and poorly permeable barriers and the regions of high and poorer permeability are singled out. The result of conducted investigations was increase in overflow springs yield after the reservoirs (Salakovac, Tribistovo, Ričina) in their hinterland have been constructed. The natural lakes and occasionally flooded fields also affect the regime of karst springs (Blidinje Jezero, Mostarsko Blato, Imotsko Polje and Čitlučko Polje).

The regions suitable for groundwater investigations on the terrains remote from the discharge zones were determined. Based on geological-hydrogeological, hydro-chemical and geophysical investigation results the optimum ways were proposed of prospecting for potable groundwater in the deep and distanced hinterland of the arid regions.

KEY WORDS: karst hydrogeology, spring, barrier, aquifer, correlations, recession

1. Uvod

Istraživački prostor obuhvaća dolinu rijeke Neretve (desna obala) južno od Jablanice do Metkovića, sliv rijeke Drežnice, Mostarskoga blata i rijeke Tihaljine. Uvršteni su i planinski predjeli Čvrsnice i Čabulje koji prelaze u niže planine Zagvozd Gvozd, Rujan i Trtla. Između tih planina formirale su se krške depresije Svinjača - Dugo polje s jezerom Blidinje na sjeveru, te Rakitno, Posuško, Imotsko polje i Mostarsko blato.

Osnovni potencijali podzemnih voda toga područja do sada su malo istraživani i eksploatirani, iako su temeljni podaci opažanja glavnih izvora i vodotoka prikupljeni u sklopu izrade pregleda podzemnih voda sliva rijeke Neretve (Slišković et al. 1989.). Postoje također podaci o istraživanjima pojedinih izvora kaptiranih za vodoopskrbu, kao što su Studenac i Radobolja kod Mostara, Grudsko vrilo, vrela u Studencima kod Ljubuškog i Vrioštica u Vitini.

Interpretacijom svih prikupljenih podataka zaključilo se da postoje podzemne vode i u prostorima koji do sada nisu istraživani. Značajne zalihe podzemnih voda očekuju se sjeveroistočno od Ljubuško-Klobučke navlake, uz sjeveroistočni rub Imotsko-Bekijskog polja, u kršu Graba i Banje kod Vitine, duž jugoistočnog i sjeverozapadnog ruba Mostarskog blata i na području krške zaravni Međugorje-Čitluk-Hamzići-Buhovo-Rasno. Suvremenim i osmišljenim istraživačkim metodama mogla bi se zahvatiti značajna količina kvalitetnih podzemnih voda u hidrološkom minimumu, što bi se višestruko isplatilo, a takvi zahvati podzemnih voda imali bi strateški značaj. Zato se hidrogeološkim istraživanjima treba posvetiti veća pozornost i priskrbiti financijska sredstva kako bi se počele iskorištavati značajne količine kvalitetne podzemne vode. To je posebice značajno zbog problema u dosadašnjoj vodoopskrbi zapadne Hercegovine; kao što je to područje Posušja, Čitluka, Gruda i sjevernoga i južnoga ruba Mostarskog blata. To će se istraživanje sinhronizirati s idejnim vodoprivrednim projektima i trebala bi biti njihovom dopunom.

Hidrogeološke funkcije terena i veličina sliva

Zapadne Hercegovina pripada zoni visokoga krša »Orogeni akumulacijski krš«, (Herak, 1977.) odlikuje se specifičnim geomorfološkim, geološkim i hidrogeološkim razvojem. Na hidrogeološkoj karti (sl. 1) prikazane su hidrogeološke funkcije stijena, njihova propusnost, vodene pojave i objekti. Kategorizacija stijena i terena izvedena je na temelju veličine propusnosti i vrste poroznosti, te genetskih, odnosno sedimentnih značajki stijena, a na osnovi podataka dosada provedenih istraživanja.

Vodeći su litološki članovi u tom području vapnenci. U njima su pukotine i druge vrste šupljina veoma neujednačene, i ovisе o tektonskim procesima, koji su se odvijali u periodu alpske orogene faze. Ispucalost i rastvorljivost vapnenaca su značajke koje imaju presudno značenje za područje krša. U dobro propusne stijene kavernožno-pukotinske poroznosti uvršteni su: vapnenci, dolomitični vapnenci i neke vrste dolomita, ovisno o njihovoj genezi. Propusnost tih stijena ovisna je o okršenosti, ispucalosti, strukturnom položaju, uslojenosti, debljini, udjelu vapnenačke, odnosno dolomitske komponente.

Dolomiti imaju različitu stratigrafsku pripadnost. Najstariji pripadaju srednjem trijasu, a najmlađi gornjoj kredi. Nalazimo ih kao čiste u srednjem toku Neretve do postupnih prelaza prema vapnencima u području Posušja i Širokog Brijega. Dolomiti su gornjega trijasa ponegdje okršeni, ali u osnovnoj strukturi su nepropusni i čine relativne barijere podzemnim vodama. Značajnu su ulogu dolomiti odigrali i u for-

miranju razvodnica u srednjem toku Neretve, u području Grabovice, Drežnice, Čvrstice i Čabulja planine.

Dolomiti jure i krede imaju manju ulogu u nepropusnom kompleksu, ali, ako su u antiklinalnom strukturnom položaju, i oni čine barijere podzemnim vodama. Važniju ulogu u tečenju podzemnih voda imaju - paleogenski i neogenski klastiti formirani u bazenima različite starosti i postanka. Krajem pliocena i u početku pleistocena na krškim se poljima i zaravnima odvija intenzivna tektonska aktivnost koja uvjetuje nastanak krških polja bez taloženja morskih ili jezerskih sedimenata, takva su polja: Imotsko i Dugo polje na sjeveru i sjeverozapadu te Mostarsko blato na jugu istraživačkoga područja. Krška polja se nalaze na različitim visinama u zapadnoj Hercegovini počevši od Kupreškoga (1150 m n.m.), koje se spušta preko Duvanjskoga (800 m.n.m.) i Livanjskoga (720 m.n.m.), prema slivu Cetine s jedne strane, te preko Posuškoga (600 m.n.m.), Imotskoga (250 m.n.m.) i Mostarskoga blata (240 m.n.m.) prema slivu Tihaljine i Neretve, s druge strane.

Sliv je donjega toka Neretve, sve do rijeke Trebižat, uzak jer se sliv Mostarskoga blata tretira kao odvojena cjelina. Pokušaji razgraničenja sliva Mostarskoga blata do danas nisu uspjeli, jer je na većem prostoru razvodnica najvjerojatnije zonarna - podzemna. Nedostatak bojenja u tom prostranom slivu je očit, pa će se u sljedećem razdoblju tomu posvetiti više pozornosti. U sjevernome dijelu sliva odnosi su sa susjednim slivovima donekle jasni, pošto nepropusne stijene Drežanke leže u obliku antiklinale pa usmjeravaju vode prema jugu. Razvodnica na sjeverozapadu je donekle definirana bojenjem ponora Miljacka kod Studenih Vrela i položajem krovinskih naslaga sjeverno od Poklečana.

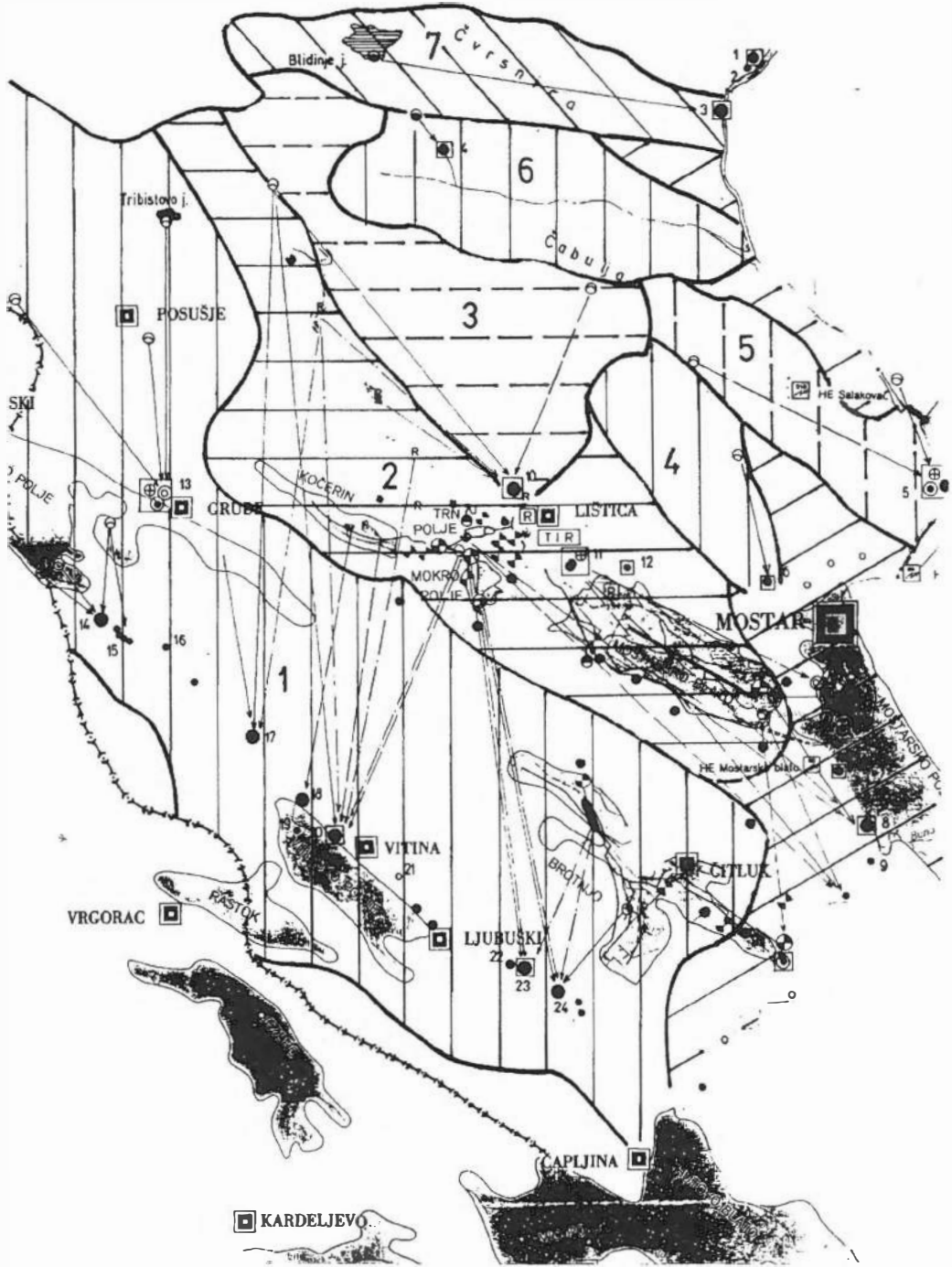
Bojenje ponora u Rakitskom polju dokazuje da je razvodnica s Trebižatom šira prostorna zona. U tom izrazito krškom području dolomitne naslage gornje krede često su propusne, ovisno o tome jesu li u obliku ljuške ili jezgara antiklinala. Dolomitna gornjokredna antiklinala u području Širokoga Brijega pridonijela je formiranju snažnoga krškog izvora rijeke Lištice.

Da bi se dokazala pripadnost podzemnih voda manjim neogenskim poljima Kočerina, Trn i Mokro, bit će neophodno izvršiti dodatna bojenja, a do tada bi bilo najlogičnije podzemne vode tih depresija, zajedno s Mostarskim blatom pripojiti slivu vrela Jasevnice, Crnog Oka i Arape Mlina. Međutim, na temelju geološko-tektonskih odnosa postoji realna mogućnost da dio ponirućih voda otječe poprečnim rasjedima prema izvorima donjega toka rijeke Trebižat. Najpoznatija zona potpune barijere je u području čela ljubuško-klobučke navlake, koja se proteže lijevom obalom Tihaljine. Područje oko Mostara, Čitluka i Hamzića, izgrađuju viseće barijere, a protežu se u više zona do Duvanjskoga polja. Te zone su visoko izdignute, pa čine viseće barijere podzemnim vodama formiranim u dubokom kršu. To su istodobno i indikatori za usmjeravanje budućih istraživanja.

Hidrogeološke pojave i akumulacije podzemnih voda

Neposredni sliv Neretve, nizvodno od Jablanice, napaja se vodama od Velikoga i Maloga Praporca (Sl. 1 – izvor br. 1,2). Procijenjena ukupna srednja izdašnost obaju vrela je 2,67 m³/s, a slivna površina je krška zaravan Plasa planine.

Crno jezero (Komadinovo vrelo) (Sl. 1. - Izvor br. 3) nalazi se oko 800 m nizvodno od brane u Grabovici. Izbija iz ponikve ispod strmih litica na dvjema paralelnim pukotinama. Izdašnost vrela se kreće između 0,7 i 50 m³/s. Rijeka Drežanka ima svoj sliv izmodeliran u trijaskim dolomitima jedne monoklinalne strukture. Bojenjem ponora



LEGENDA

	KRAŠKO POLJE OBUHVAĆENO PROJEKTOM		OBJEKTI ZAŠTITE VODA
	KRAŠKO POLJE VAN PROJEKTA		CRPNA STANICA
	PRIRODNO ILI VJEŠTAČKO JEZERO		CJEVOVOD
	PLANIRANA AKUMULACIJA		STANICA ZA PREDIŠĆAVANJE
	RAZMATRANA AKUMULACIJA SA MOGUĆIM UZGOJEM RIBE		OBJEKTI ZA ODVODNJU I ODBRANU OD POPLAVA
	RIBOGOJILIŠTE		OBODNI KANAL
	OBJEKT TURIZMA I REKREACIJE		POSTOJEĆI KANAL
	OBJEKTI VODOOSNABJEVANJA		CRPNA STANICA
	REZERVUAR PITKE VODE		RETENZIJA
	VODOVOD PITKE VODE		REGULISANO KORITO
	CRPNA STANICA		POSTOJEĆI TUNEL
	OBJEKTI NAVODNANAVAJA		ODVODNI TUNELI HIDROELEKTRANE
	CRPNA STANICA		KANAL HIDROELEKTRANE
	KANAL		HIDROELEKTRANA
	MAGISTRALNI CJEVOVOD		NAŠELJE

Sl. 1 KARTA PODZEMNIH VODNIH VEZA

Fig. 1 MAP SHOWING GROUNDWATER CONNECTIONS

PROJEKT MOSTARSKO BLATO
PROJEKTOVANO STANJE

1 0 1 2 3 4 5km

IZDAVAČ: IRO „HIDROELEKTRANE NA HERCEVI“
KARTOGRAFSKA OBRADA: GEODETSKI ZAVOD U SARAJEVU
ŠTAMPA: BEOGRADA - BEOGRAD: 1984. GODINE

VODNE POJAVE I VEZE - WATER PHENOMENA AND CONNECTIONS

	Stalan krški izvor, najmanja izdašnost - Permanent karst spring, minimum discharge
	Povremen krški izvor, srednja izdašnost - Intermittent karst spring, mean discharge
	Stalni i povremeni ponor - Permanent and intermittent swallow hole
	Bušeni bunar i opažačka bušotina - Drilled production and observation well
	Zahvat podzemne vode - Groundwater intake structure
	Estavela - Estavelle
	Dokazana podzemna vodna veza - Determined underground hydraulic connection
	Pretpostavljena podzemna veza iz krških akumulacija - Assumed underground hydraulic connection with karst reservoirs

SLIVOVII - CATCHMENT AREAS

1		Rijeka Tihaljina - River Tihaljina
2		Mostarsko Blato
2a		Dolina rijeke Neretve - Neretva river valley
3		Vrelo rijeke Lištice - Lištica river spring
4		Vrelo rijeke Radbolje - Radobolja river spring
5		Vrelo Studenac - Studenac spring
6		Rijeka Drežanka - Drežanka river
7		Izvor Crno Jezero - Crno Jezero spring

Donje bare utvrđena je podzemna veza s glavnim vrelom Drežanke, (br. 4). Vrelo Studenac (br. 5) izvire 0,5 m iznad srednje razine rijeke Neretve. Taj se izvor detaljno istraživao radi zaštite od uspora voda Neretve za HE Mostar. Na njemu je izgrađen crpni sustav za vodoopskrbu Mostara. Nakon višegodišnjih detaljnih ispitivanja (izbušeno je 35 opažačkih bušotina i 5 zdenaca) utvrđeno je da je izvor sifonski i da jedan dio vode izbija u koritu Neretve nedaleko od glavnog izvora. Nakon punjenja akumulacije Salakovac, simultanih mjerenja i korelativnih analiza protjecaja na Studencu, utvrđeno je da se minimalna izdašnost vrela povećala od 1,2 na 2,4 m³/s što upućuje na direktnu vezu s Neretvom, uzvodno od Bijeloga polja.

Vrelo Radoblje (br. 6) napaja se iz krškoga područja jugoistočnoga dijela Čabulja planine. Vode cirkuliraju karbonatnim vodonosnicima duž dva dijagonalna rasjeda dinarskoga pravca pružanja. Rasjed, koji se pruža od Goranaca prema vrelu Radoblje, odvodi direktno vode prema vrelu blizu kontakta s neogenskim sedimentima. Vrelo Radoblje ima velike oscilacije u izdašnosti (Q_{max} 10 m³/s, Q_{sr} = 3,0 m³/s i Q_{min} = 0,2 m³/s).

Povremeno plavljeno Mostarsko blato napaja se povremenim tokom Ugrovače i od stalnih vrela Lištice, Crnašnice i Žvatića. Vrela Lištice (br. 10) izbijaju na više pukotina s ukupnom minimalnom izdašnošću 3,0 m³/s. Akumulacija podzemnih voda, koje se izlijevaju na tim vrelima proteže se sjeverno i sjeverozapadno i zahvaća površinu od cca 220 km².

Izvori su Crnašnice (br. 11) i Žvatića (br. 12) na sjevernome rubu Mostarskoga blata, a njihovo izlivanje je uvjetovano pojavom gornjokredskih dolomita. Minimalna izdašnost vrela Crnašnice je 10 l/s, Žvatića 5 l/s.

Mostarsko blato je plavljeno prosječno 5-6 mjeseci. Kapacitet ponora je različit i ovisi o vodostaju u Blatu. Zbog šteta koje svake godine nanose poplavne vode, prokopan je i tunel 1947. godine od sela Čule do rijeke Jasenice s protočnim kapacitetom od 23 m³/s (Gjurović, 1964.). Usprkos tunelu, Blato se i dalje plavi jer kapacitet vodotoka Jasenice ne dozvoljava propuštanje velike količine vode. Kapacitet ponora je ovisan o razini vode u Mostarskome blatu. Kod vodenoga stupa od 1 m, kapacitet ponora je 4,8 m³/s, kod 4 m, kapacitet ponora je 14,5 m³/s, a kod maksimalno visokih voda, za vodeni stup od 11 m, kapacitet ponora je 27,5 m³/s. Ponori sa sjeveroistočnog oboda imaju vezu s vrelom Jasenice, dok ponor Orlinjača na istočnom obodu ima vezu s nizvodnim vrelima Crno Oko i Arape Mlin. Crno Oko (br. 8) je tipično uzlazno sifonsko vrelo, a izbija iz ponikve promjera 7 m. Pošto vrelo izbija na nižoj koti od razine Neretve, postoji mogućnost plavljenja vrela u razdoblju visokih voda. Minimalni protjecaji su registrirani od srpnja do rujna i kreću se oko 0,8 m³/s.

Arape Mlin (Q_{min} = 0,14 m³/s) i izvor Dunajac (Q_{min} = 15 l/s), nizvodno u Žitomislju, značajni su za vodoopskrbu zaleđa.

Rijeka Trebižat od izvorišta u Imotskom polju do ušća mijenja naziv četiri puta: Vrlika, Tihaljina, Mlada i Trebižat. Hidrogeološke uvjete u Imotskom polju opisuje (Bojanić et al 1981.) te zaključuje da jezero Krenica prima vodu s kamenita dna. U nastavku zaključuje da su kvartarne naslage polja zbog svoje funkcije pretežito nepropusne, i utječu na vodne pojave u polju, ali i na otjecanje podzemnih voda ispod i mimo kvartarne barijere u smjeru nižih krških polja. Ta konstatacija je dokazana trasiranjima iz područja Tribistova i Posuškoga polja.

Osim vrela Vrlike (Q_{sr} = 13 m³/s), značajniju ulogu ima i snažno povremeno vrelo kod Gruda. Grudsko vrelo je silazno-uzlazno. Izvire iz nekoliko otvorenih jama na potezu od 70 m, Q_{sr} = 2,6 m³/s. Presuši prosječno 3-4 mjeseca u godini. Istraživačkim radovima dokazano je da se razina vode u podzemlju spušta 10-30 m ispod površine

terena. Sedamdesetih godina su izbušena dva zdenca kapaciteta 40 l/s, a 1984. još dva ukupnoga kapaciteta 200 l/s što zadovoljava potrebe općine Grude za sljedeći period (Slišković, 1984.). Izgradnjom akumulacijskog jezera u Tribistovu povećala se izdašnost vrela.

Vrlika ponire kod sela Drinovci i javlja se na vrelu Tihaljine (br. 14). U padini vrela je dolomit koji stvara jezgru antiklinale. Podzemne vode od ponora Šainovci vjerojatno protječu prema vrelima u Kordićima (br. 15). Ti izvori imaju ukupnu minimalnu izdašnost 60 l/s, a maksimalnu veću od 7 m³/s. Nizvodno u Tihaljinu ulijevaju se vode krških vrela Nezdravica Q_{min} = 15 l/s, Jakšenice Q_{min} = 12 l/s i Nenoća Q_{min} = 10 l/s. U mjestu Klobuk, svega 80 m od korita Tihaljine, izbija najveće krško uzlazno mineralno vrelo Klokun (17) (Q_{min} = 3,6 m³/s, a povećan ionski sastav sulfata (do 700 mg/l) nastaje od protoka vode kroz donjotrijaske anhidrite i pješčenjake.

U nizu krških vrela, nizvodno od Klobuka, prvo je povremeno vrelo Podgrab (br. 18). Maksimalna izdašnost mu prelazi 5 m³/s, a presuši 3-4 mjeseca godišnje. Izvor je preljevnog tipa, pa bi se bušenjem u zaleđu mogle dobiti znatne količine vode. U Vitini, rijeka Tihaljina prima vode od vrela Vrioštice (br. 20) i, nešto nizvodnije, od povremenog Vrela u selu Radišići (br. 21). Izdašnosti vrela Vrioštice su: Q_{min} = 1,250 m³/s, Q_{sr} = 3,2 m³/s i Q_{max} = 16 m³/s. Vrelo Studen (Q_{min} = 0,4 m³/s) u Vitinskom polju je neispitano.

U selu Studenci Trebižat prima vode od Studenčice, koja nastaje od više krških vrela među kojima se ističu: Vrilo (br. 22), Vakuf (br. 23) i Kajtozovina (br. 24). Studenačka vrela su raspoređena na razmaku od 2 km na kontaktu gornjokredskih vapnenaca i eocenskog fliša. Srednje vrelo, Vakuf, izbija na najnižoj koti i ima ujednačenu izdašnost od (Q_{min} = 2,0 m³/s, Q_{sr} = 3,5 m³/s do Q_{max} = 5,1 m³/s), što je veoma povoljno za vodoopskrbu širega Ljubuškog i Čitlukog područja.

Rasprava o zalihama podzemnih voda

U tablici br. 1 daju se ukupne minimalne i srednje rezerve s pripadajućom površinom. Proračun rezervi izvršen je hidrodinamičkom metodom na temelju promatranja i mjerenja razine podzemne vode, vodostaja, protjecaja i provedenih osnovnih hidrogeoloških, hidrokemijskih i geofizičkih istraživanja. Rezerve su prikazane u m³/s za izvore koji su se promatrali najmanje dvije godine.

Na temelju hidrogeoloških sličnosti unutar karbonatnog vodonosnika, te s obzirom na morfološku pripadnost odgovarajućim izvorima i slivovima istraživačko područje možemo podijeliti na:

- 1 - Sliv Velikog i Malog Praporca i Crnog vrela (br. 1, 2, 3);
- 2 - Sliv velike Drežnice i rijeke Drežnice (4);
- 3 - Sliv Studenca i Radobolje (5, 6);
- 4 - Sliv Mostarskoga blata (10, 11, 12) i pripadajućih vrela u dolini Neretve/Jasenica (7), Crno Oko (8), i Arape (9);
- 5 - Sliv Tihaljine s pripadajućim slivom Imotskoga polja, Tribistova i Rakitna (13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24)

Rezerve podzemnih voda nisu razvrstavane po kategorijama samo su dati minimalni eksploatacijski kapaciteti izvora koji su povoljni za vodoopskrbu (tablica 1). Pošto su ukupne potrebe te regije 110,25 x 10³ m³/god vidljivo je da su mogućnosti (Q_{min.eksp.} = 341,96 x 10³ m³/god) višestruko veće. Međutim, lokacije, gdje se pojavljuju podzemne

TABLE 1. ESTIMATED MINIMUM AND TOTAL DYNAMIC GROUNDWATER RESERVES

TABLICA 1. PROCIJENJENE MINIMALNE I UKUPNE DINAMIČKE REZERVE PODZEMNIH VODA

DRAINAGE BASIN		km ²	Flow rate - protok		Renewable reserves-obnov.res.		Admitted extrac- tion-promjen.res. 10 ⁶ m ³ /year/god.	Recession coe- fficient-koefl. recesije	Residual stora- ge -dinamičke rezerve 10 ⁶ m ³
			minimum- min. m ³ /s	mean-srednji m ³ /s	minimum-min. 10 ⁶ m ³ /year/god.	total-ukupne 10 ⁶ m ³ /year-g.			
1	VELIKI PRAPORAC (1)*		0.400	1.920	12.60	60.48	12.60	0.022	1.550
	MALI PRAPORAC (2)		0.140	0.750	4.41	23.62	4.41	0.020	0.640
	CRNO VRELO (3)		0.800	4.800	25.20	151.20	25.20	0.025	3.970
	TOTAL	190	1.340	7.470	42.21	235.31	42.21		6.160
2	VRELO DREŽANKE (4)	144	0.150	2.180	4.72	68.67	4.72		0.369
3	STUDENAC (5)		1.200	4.160	37.80	131.04	44.10	0.018	5.750
	RADOBOLJE RIVER SPRING (6)		0.200	1.030	6.30	32.44	6.30	0.021	0.830
	TOTAL	168	1.400	5.190	44.10	163.48	50.40		6.580
4	MOSTARSKO BLATO (POLJE) AND JASENICA RIVER DRAI- NAGE BASIN								
	VRELO LIŠTICE (10)		3.000	8.200 ⁺⁺	94.50	258.30	78.79	0.035	7.400
	VRELO CRNAŠNICE (11)		0.030	0.450 ⁺⁺	0.94	14.17	0.94	0.009	0.280
	VRELO ŽVATIĆ (12)		0.010	0.600 ⁺⁺	0.31	18.90	0.31	0.008	0.097
	VRELA JASENICE (7)		0.400	12.500	12.60	393.75	12.60	0.021	2.026
	CRNO OKO (8)		0.900	2.400	28.35	75.60	28.35	0.024	3.240
	ARAPE MLIN (9)		0.140	0.500	4.41	15.75	4.41	0.020	0.640
	TOTAL	420	4.480	15.400	141.12	485.10	125.36		13.683
5	TIHALJINA (TREBIŽAT) RIVER BASIN								
	GRUDSKO VRELO (13)		0.000	2.600	0.00	81.90	6.30	-	-
	TIHALJINE RIVER SPRING (14)		1.200	14.080	37.80	444.52	0.00 ⁺⁺⁺	0.031	3.344
	SPRINGS AT KORDIĆI (15)		0.060	0.650	1.89	20.47	0.00 ⁺⁺⁺	0.008	0.664
	NEZDRAVICA AND JAKŠENICA (16)		0.040	0.480	1.26	15.12	0.00 ⁺⁺⁺	0.009	0.384
	KLOKUN (17)		3.680	7.500	115.92	236.25	0.63	0.052	9.936
	PODGRAB (18)		0.000	1.200	0.00	37.80	0.00	-	-
	STUDEN (19)		0.400	1.400	12.60	44.10	12.64	0.021	2.026
	VRILOŠTICA - VRITINA (20)		1.250	3.400	39.37	107.10	25.25	0.019	5.678
	SPRING AT RADIŠIĆI (21)		0.000	0.310	0.00	9.76	0.00	-	0.000
	SPRINGS AT STUDENCI (22, 23, 24)		3.340	7.600	105.21	239.40	74.35	0.034	8.487
	TOTAL	980+280	9.970	36.620	314.05	1151.53	119.27		30.519
	GRAND TOTAL	2182	17.360	66.860	546.210	2106.09	341.96		57.311

* SPRING NUMBER IN THE MAP Fig 2 - broj izvora na slici br. 2

** MEAN DISCHARGE RATE OF THESE SPRINGS IS NOT INCLUDED INTO THEIR RENEWABLE RESERVES BECAUSE IT IS INCLUDED INTO THOSE OF THE SPRINGS No 7, 8 and 9 - srednja izdašnost izvora nije uključena u obnovljive rezerve, jer su uključene na izv. 7, 8 i 9

+++ LOW QUALITY SPRING WATER FOR WATER SUPPLY BECAUSE OF A HIGH SULPHATE CONTENT - izvori nepoaljivi za vodoopskrbu zbog povišenog sadržaja sulfata

vode, krajnje nepovoljne su, jer su velika područja bezvodna. Zbog tih razloga ukazujemo na »skrivenene« rezerve podzemnih voda u blizini potrošačkih središta.

1. Izvor Veliki praporac (1) ($Q_{min} = 0,400 \text{ m}^3/\text{s}$) kaptiran je za potrebe Jablanice ($Q_p = 0,120 \text{ m}^3/\text{s}$) Mali praporac i Crno jezero slobodno otječu u rijeku Neretvu.
2. Izvor Drežanke upotrebljava se samo $0,002 \text{ m}^3/\text{s}$ za vodoopskrbu, a $0,100 \text{ m}^3/\text{s}$ za navodnjavanje.
3. Sliv Studenca i Radobolje s ukupnom minimalnom izdašnošću od $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ u prirodnom stanju, i dodatnih $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ nakon punjenja akumulacije Salakovac, jamče sigurnu vodoopskrbu Mostara i šire okolice.
4. Sliv Mostarskog blata s $Q_{min} = 3,040 \text{ m}^3/\text{s}$ daje dovoljne količine vode za regionalni vodovod širega područja. Mešutim, rubna naselja nemaju riješenu vodoopskrbu. Na temelju bušenja uz sjeverni i uz južni rub Mostarskoga blata dokazane su podzemne vode u vapnenjačkim akviferima na dubini od 20-70 m. Pošto je ovo »tranzitno« područje prema vrelima Jasenice i Crnog Oka u dolini Neretve realno je očekivati značajne količine skrivenih rezervi podzemnih voda. Dug tijek podzemnih voda iz smjera Kočerin polja ukazuje na velike zalihe podzemnih voda u krednim vapnencima uz južni rub Mostarskog blata. Dva bojenja ponora u Kočerin polju nisu dala rezultate, premda je promatranje trajalo 2-3 mjeseca.
5. Minimalne dinamičke rezerve svih izvora Tihaljine ($Q_{min} = 9,970 \text{ m}^3/\text{s}$) ukazuju na značajne rezidualne rezerve u zaleđu izvorišta i nakon dužega sušnog perioda. Budući da je dokazana podzemna veza s ponorima u Rakitnom, Tribistovu i Posuškom polju, možemo pretpostaviti da taj sliv raspolaže znatnim količinama skrivenih zaliha. Podzemne vode na putu od Rakitna nailaze na viseće hidrogeološke barijere u području Sobača, Posuškog i Imotskoga polja, što uvjetuje usporavanje podzemnoga toka i punjenje vodonosnika u uzvodnom dijelu visećih barijera. To su razlozi zašto se realno očekuju znatne količine podzemnih voda u strukturama duž sjevernog oboda Imotskog polja. Ta je pretpostavka dokazana na Grudskom vrelu.

Najveći dio voda, u hidrološkom minimumu ($4,6 \text{ m}^3/\text{s}$), Tihaljina primi od svog izvorišta Vitine, sa stalnih izvora (Vrelo rijeke Tihaljine, Kordića, Jakšenice, Nenoća i Klokuna). Nizvodno od Klobuka pojava jakih stalnih i povremenih vrela vezana je uz ljubuško-klobušku navlaku gornjokredskih vapnenaca na eocenski fliš. Najveća vrela su: povremena - Podgrabi i Radišići te stalna - Vrioštica, Studen i Vrela Studešnice.

Imajući u vidu da je to uglavnom »tranzitno« područje, kroz koje protječu podzemne vode sa sjevera i sjeveroistoka prema najnižoj, erozijskog bazi prema jugu i jugoistoku (Mostarskom blatu i Tihaljini, odnosno rijeci Neretvi), optimalna područja istraživanja, za regionalnu vodoopskrbu zapadne Hercegovine, krške su zone kroz koje teku podzemne vode. Perspektivne lokacije za vodoopskrbu u zoni toga krša su: sjeverozapadni i jugoistočni rub Mostarskog blata, sjeverni rub Imotsko-Bekijskog polja; krška zaravan Čitluk-Hamzići-Buhovo-Rasno-Mamići i pojedinačni pukotinski i sifonski tokovi. Akumulacije podzemnih voda se prazne na brojnim stalnim i povremenim izvorima i vrelima duž geološki i morfološki pogodnih struktura u dolinama Neretve, Drežnice i Trebižata, te duž sjeverozapadnog oboda Mostarskog blata. Iz tablice 1. se vidi da se rezidualne dinamičke rezerve u svim područjima kreću oko $57 \times 10^6 \text{ m}^3$. Nisu uzete u obzir statičke rezerve koje su nepoznate, ali se sa sigurnošću može računati na njih, što je utvrđeno kod povremenoga Grudskog vrela, na pregradnom profilu brane Salakovac i u Mostarskome blatu.

Utjecaj prirodnih i umjetnih akumulacija na izdašnost izvora i režim podzemnih voda

Višestruko povećanje izdašnosti pojedinih periodičnih i stalnih izvora u recesivnom periodu vezano je uz dinamičku razinu podzemne vode, a ona se može znatno povećati u recesivnom periodu izradom i regulacijom prirodnih i umjetnih akumulacija u slivu izvora. Na temelju proučavanja geoloških, tektonskih, morfoloških, hidroloških i hidrogeoloških podataka i parametara, zaključilo se da bi se sustavom mikroakumulacije na povremenom toku Ugrovače stvorili povoljni uvjeti za porast izdašnosti i stabilizaciju razine podzemne vode na izvorima u području sliva Mostarskoga blata, i posebno Tihaljine. Za osnovanost te tvrdnje imamo do sada isprobana dva primjera (izvor Studenac i Grudsko vrelo). U oba slučaja povećana je izdašnost izvora u recesivnom periodu nakon punjenja akumulacija Salakovac i Tribistovo.

Prirodno jezero Blidinje u međuplaninskoj depresiji Čvrsnice i Vrana prihranjuje izvor Crno jezero (br. 3). To je dokazano bojenjem ponora na južnom rubu jezera Blidinje. Boja ubačena u ponor istekla je na vrelu Crno jezero nakon 42 dana. Količine vode puštene u podzemlje s jezera Blidinje bitno utječu na izdašnost Crnog jezera.

Izdašnost Grudskog vrela možemo kontrolirati s više točaka u slivu, a to su: Posuška Ričina, akumulacija Tribistovo, Posuško polje, a vjerojatno i s ponora u Studencima. Regulaciju istjeka na vrelu Radobolje možemo provesti izgradnjom mikroakumulacije u neogenskim slabopropusnim naslagama u Gorancima. Realizacijom projekta »Mostarsko blato« poboljšao bi se vodni režim na cijelome nizu izvora od vrela Lištice u Širokom brijegu, te izvora na desnoj obali rijeke Neretve, od Mostara do Čapljine, a vjerojatno bi postali stalni i neki povremeni izvori. Umjetne akumulacije vjerojatno bi značajno poboljšale režim istjeka na izvorima lijeve dolinske strane rijeke Trebižata od vrela Podgrab, preko Vrioštice do Studenačkih vrela. Prije realizacije tih značajnih projekata, treba izvesti cijeli niz istraživačko-pokusnih radova, da bi se te tvrdnje dokazale. Smatramo da je to jedan od prioritetni ciljeva za istraživanja u sljedećem razdoblju, a sve u cilju napretka i pravilnog prostornog razvitka tih, do sada zastavljenih i nerazvijenih, dijelova Hercegovine.

Literatura

1. TISKANI RADOVI:

- Bojanić, L., Ivičić, D. & Batić, V. (1981.): Hidrogeologija Imotskog polja s osvrtom na njegov značaj u regionalnom smislu, Geol. vjesnik, 34, 121.-127.
- Džemal, H & Zahirović, S. (1985.): Projekt Mostarsko Blato-kratak prikaz, posebno izdanje Poslovna zajednica Mostarsko Blato i HE na Neretvi Jablanica, Mostar, 153 P
- Đurović, M. (1964): Hidrogeološka studija i melioracija Mostarskog Blata. Građevinar 2, Zagreb.
- Herak, M. (1977.): Tecto-genetic approach to the classification of the classification of karst terrains. Krš Jugosl., 9/4, 227.-238., Zagreb.
- Komatina, M. (1975): Hidrogeološke odlike slivova centralnodinaridskog karsta; Geozavod Beograd. Posebno izdanje, 138 P.
- Luis, C. (1976): Introduction al'hydraulique des Roches; Universite Pierre et Marie Curie, Paris IV.

- Mikulić, S. i Trumić, A. (1969.): Akumulirane vode na kršu i problemi njenog optimalnog iskorištavanja. Krš Jugoslavije, p. 279.-301., Zagreb.
- Slišković, I. (1984.): Geološko-hidrogeološke karakteristike ležišta boksitne rude Trobukva - Studena vrila. Zbornik VIII jug. simp. o hidrol. i inž. geol., Budva, p. 559.-573.
- Slišković, I. (1986): Mogućnosti vodosnabdjevanja iz neogenskih bazena u visokom kršu - XI Kongresa geologa Jugoslavije; Tara, Beograd, 5, p. 109.-129.
- Slišković, I. (1991): Hidrogeološki odnosi u čvrstim stijenama BiH-e - doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 205.

2. ARHIVSKA DOKUMENTACIJA

- Slišković, I. (1984.): Hidrogeološki istražni i kaptažni radovi za potrebe vodoopskrbe Grudske općine, FDS, Geoinženjering, Sarajevo.
- Slišković, I., Plavšić, J. & Miošić, N. (1989.): Bilans podzemnih voda Bosne i Hercegovine. Fond Instituta za geol. istraživanja, p 30.-80., Sarajevo.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

B. Hlevnjak, A. Magdalenić, T. Vazdar,
K. Urumović, I. Dragičević

R 4-05

Uloga izvora Tombazin u regulaciji izvora Sv. Ivan u Istri

SAŽETAK: *Hidrogeološki odnosi u sklopu razvoda izvora Sv. Ivan doveli su do specifičnog mehanizma akumuliranja i istjecanja podzemnih voda. Značajna akumulacija podzemnih voda ostvarena je strukturnim sklopom naslaga u kojemu su paleogenski i kredni okršeni vapnenci prekriveni eocenskim flišom upravo u hipsometrijski najnižim predjelima sliva. Formirani rubni uvjeti i visoka propusnost krškog vodonosnika omogućavaju relativno visoke minimalne izdašnosti izvora Sv. Ivan i dovode do relativno malih odnosa minimalne i maksimalne izdašnosti. Pri tome presudnu ulogu u regulaciji maksimalnih izdašnosti na izvoru Sv. Ivan ima povremeni izvor Tombazin, koji u stvari predstavlja preljevanje podzemnih voda iz krškog vodonosnika pri ekstremnim vodostajima.*

KLJUČNE RIJEČI: *krški izvor, akumulacija podzemnih voda, rubni uvjeti, slivno područje*

The Role of the Tombazin Spring in Regulation of the Sv. Ivan Spring in Istria

ABSTRACT: *Hydrogeological relations within the Sv. Ivan spring watershed in Istria caused a specific mechanism of groundwater storage and discharge. A considerable storage of groundwater has been realized through a structural fabric of deposits containing Paleogene and Cretaceous karstified limestones covered with Eocene flysch precisely in the parts of the catchment with the lowest hipsometrical elevation. The formed marginal conditions and high permeability of karst aquifer enable comparatively high minimum yield of the Sv. Ivan spring and result in a comparatively low minimum/maximum yield ratio. The crucial effect on maximum yield of the Sv. Ivan spring regime is the one of the intermittent spring of Tombazin which is actually the groundwater overflow from the karst aquifer at extreme water tables.*

KEY WORDS: *karst spring, accumulation of ground water, boundary conditions, drainage area*

1. Uvod

Izvor Sv. Ivan nalazi se u središnjem dijelu Istarskog poluotoka, na dnu ljevkaste doline rijeke Mirne, oko 1 km jugoistočno od Buzeta (sl. 1). Izdašnost izvora u minimumu iznosi oko 150 l/s, a u maksimumu ponekad doseže nešto preko 2000 l/s. Izvor je zahvaćen za potrebe vodoopskrbe Buzeta i Buja još 1933. godine. Kasnije se vodoopskrbni sustav postupno širi, u njega se uključuju novi potrošači i nova izvorišta, pa prerasta u vodoopskrbni sustav središnje i zapadne Istre. To je i razlog što su pojava izvora i njegovo priljevno područje bili predmet brojnih hidrogeoloških istraživanja. Prva su (Veronese, 1939.) bila neposredno povezana s problemom izgradnje zahvata. Od kasnijih istraživanja objavljeni radovi prikazuju analize površine priljevog područja i veličine otjecanja (Bonacci i Magdalenić, 1993.), te uspostave zaštitnih zona (Vazdar i dr. 1994.) izvora Sv. Ivan. U novijim naporima na promicanju gospodarenja vodama u Istri općenito su zanimljive ideje o sustavnoj upotrebi zaliha podzemnih voda uskladištenih ispod kote prirodnog izviranja (Rubinić, 1994.). Postojeći podaci i interpretacije režima izvora Sv. Ivan pokazuju da ovaj izvor istječe iz krškog vodonosnika u kojemu su uskladištene velike zalihe podzemnih voda prikladne za upotrebu u sušnim razdobljima.

Složeni su hidrogeološki odnosi, prvenstveno uvjetovani brojnim specifičnostima kretanja vode u krškom podzemlju i pokraj višekratnih istraživanja, ostavili brojne nepoznanice kako u svezi s priljevnim područjem izvora, tako i sa zalihama podzemnih voda, koje omogućavaju relativno ravnomjerno istjecanje vode na izvoru Sv. Ivan, i s tim u svezi mogućnosti povećanja crpnih količina na lokaciji zahvata. U takvim razmatranjima pojavljuje se problem razjašnjavanja odnosa između izvora Sv. Ivan i povremenih izvora preko kojih se evakuiraju poplavne vode, a od kojih je posebice zanimljiv izvor Tomazin i ponorna zona iznad njega.

2. Geološka građa

Istraživano područje obuhvaća Čičariju na sjeveroistoku i dio paleogenskog fliškog bazena u širem području Buzeta na jugozapadu. Cijelo područje izgrađeno je od krednih i paleogenskih karbonatnih naslaga i paleogenskih klastičnih sedimenata, odnosno fliša. Doline su ispunjene kvartarnim taložinama, pretežno glinovito - prašnastoga sastava.

2.1. Pregled litostratigrafskih članova

Karbonatne naslage

Unutar karbonatnog slijeda naslaga razlikuju se: vapnenci donje krede, vapnenci i dolomitno-vapnenačke breče na prijelazu donja-gornja kreda, gornjokredni vapnenci i dolomiti, te različiti tipovi vapnenaca paleogenske starosti (sl.1).

Vapnenci donje krede (K_1). Krajnji sjeverozapadni dio terena, istočno od sela Dane, izvan pretpostavljenih granica sliva, izgrađuju dobro uslojeni do pločasti vapnenci. Po pružanju se nastavljaju na jugoistok prema Kvarnerskom zaljevu. Najstarije su naslage u razmatranom području. Bez vidljive su podine, a krovinu im predstavljaju vapnenci i dolomitno-vapnenačke breče.

Vapnenci i dolomitno-vapnenačke breče ($K_{1,2}$) predstavljaju prijelazni član između donje i gornje krede. Javljaju se u širem području mjesta Dane. Kontinuirano slijede na vapnencima donje krede, a krovina su im gornjokredni vapnenci. Zbog nedostatne istraženosti njihov strukturni položaj i hidrogeološka uloga nisu u potpunosti poznati.

Gornjokredni vapnenci i dolomiti (K₂). Prevladavaju vapnenci, te vapnenci i dolomiti u izmjeni. Izgrađuju znatan dio terena. Najrasprostranjeniji su u širem području mjesta Dane, uz jugoistočne rubne predjele sliva prema Lanišću, te jugoistočno od Buzeta između rijeke Rečine i Drage. Dobro su uslojeni. Ispresjecani su brojnim pukotinskim sustavima, te su znatno okršeni.

Paleogeni vapnenci (Pg). U dijelu Ćićarije koji pripada slivu izvora Sv. Ivan najrasprostranjenije karbonatne stijene su paleogenske naslage. To su različiti tipovi vapnenaca sličnih hidrogeoloških osobitosti (kozinski, miliolidni, alveolinski i numulitni vapnenci). Dobro su uslojeni, ali znatno ispucali i okršeni. Leže transgresivno i diskordantno preko vapnenaca gornje krede.

U hidrogeološkom pogledu izdvajaju se kozinski vapnenci. Oni su sivosmeđi do crni bituminozni, gusti vapnenci, s tankim prosljocima ugljena i ugljevitom glinom. Slabije su propusni od ostalih paleogenih i krednih vapnenaca.

Paleogenske klastične naslage - fliš (E)

U slivu izvora Sv. Ivan dio područja je izgrađen od klastičnih naslaga eocena. Pojavljuju se na Ćićariji u nizu međusobno paralelnih zona dinarskoga pružanja, te kao jedinstveno područje u jugozapadnom dijelu oko Buzeta. Pretežno su to lapori i pješčenjaci. Dominantan član fliških naslaga su lapori. Fliške naslage imaju veliki utjecaj na hidrogeološke prilike u slivu.

Kvartarne taložine (Q)

Kvartarne taložine pokrivaju hipsometrijski niža područja i doline vodotoka. To su pretežno produkti razgradnje fliških naslaga, a sastoje se uglavnom od prašinih glina s lećama zaglinjenih pijesaka i šljunaka.

2.2. Tektonika

Za priljevno područje izvora Sv. Ivan i njegovu bližu okolicu karakteristično je intenzivno boranje i rasjedanje. Ljuskava struktura je temeljni tektonski stil. Prebačene izoklinalne bore dinarskoga pružanja poremećene su nizom rasjeda istog pružanja. Rasjedanjem su istanjeni središnji krakovi, te su karbonatne naslage krede i paleogena dovedene u reverzni kontakt s flišem, dakle sjeveroistočna krila su reducirana. Rezultat takve tektonske dinamike je gotovo pravilno ponavljanje karbonatnih i klastičnih stijena (sl. 1). To je uvjetovalo i specifičnu "terasastu" morfologiju u kojoj strme odsjeke izgrađuju vapnenci, a zaravnjeni dio fliš.

Kretanja uz reverzne rasjede su znatna, tako da se sinklinale s klastitima nalaze relativno duboko ispod rasjeda, ali ipak u većini slučajeva predstavljaju viseće barijere.

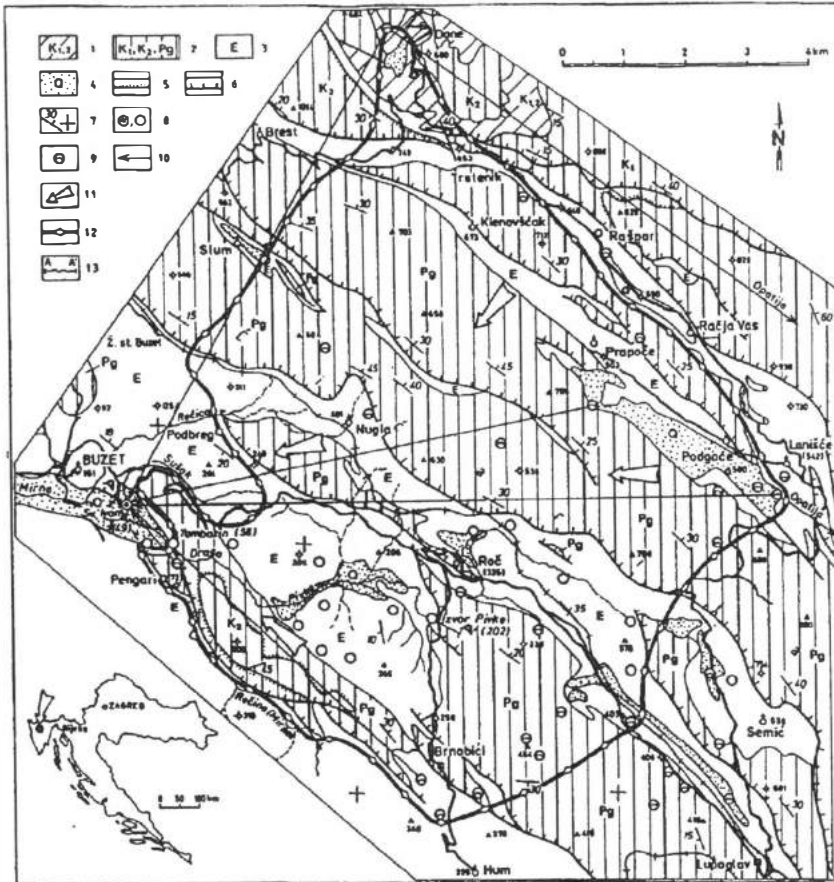
Intenzivna raspucalost i okršenost, pogotovo vapnenaca, stvorili su u karbonatnom kompleksu izuzetno visoki stupanj sekundarne poroznosti.

3. Hidrogeološki odnosi

Vapnenački dio priljevnog područja izvora Sv. Ivan uglavnom je bezvodan, bez površinskih tokova i bez pojava izvora. Manji izvori u karbonatnim stijenama vezani su za dolomitne i vapnenačke breče na području mjesta Dane. Izvori su kapaciteta decilitarskih vrijednosti.

Veći broj izvora pojavljuje se unutar fliških terena. Izvori su vezani za trošne dijelove fliša. Zajedničke karakteristike su im mala izdašnost, od 0.1 l/s ili manje u sušnom periodu do više od 1 l/s u kišnom periodu. Takve izvore nalazimo na Ćićariji, uz

sjeveroistočni dio pojedinih fliških zona. To su izvori u Trsteniku, Rašporu, Račjoj Vasi, Lanišću, zatim na nižoj stubi u selu Klenovščak, Prapoče i Podgače. Izvori su kaptirani i služe za vodoopskrbu stanovnika spomenutih naselja. Nekoliko manjih izvora nalazi se u fliškoj zoni koja se proteže od Nugle preko Roča prema Lupoglavu, zatim južno od Roča u slivu rijeke Pivke i u području Brnobića.



Sl.1. Hidrogeološka karta priljevnog područja izvora Sv. Ivan (geološka podloga prema OGK 1:100000, list Trst, autori: Pleničar, Polšak i Šikić i list Ilirska Bistrica, autori: Šikić, Pleničar i Šparica). Oznake: 1 - pijesci, šljunci, gline - promjenjiva propusnost; 2 - fliš (lapori i pješčenjaci) - nepropusne naslage; 3 - vapnenci - dobro propusni; 4 - dolomitne breče - manje propusne; 5 - geološka granica, normalna i erozijska; 6 - rasjed, normalni i reverzni; 7 - položaj sloja; 8 - izvor, stalni i povremen; 9 - ponor; 10 - dokazana podzemna veza; 11 - opći smjer kretanja podzemne vode; 12 - granica sliva; 13 - linija profila na sl. 4.

Fig. 1 Hydrogeological map of Sv. Ivan spring drainage area (geology after OGK 1:100 000, sheet Trst, authors: Pleničar, Polšak & Šikić and sheet Ilirska Bistrica, authors: Šikić, Pleničar & Šparica). Legend: 1 - sands, gravels and clays - variations of vertical and lateral permeability; 2 - flysch (marls and sandstones) - impermeable deposits; 3 - limestones - very permeable; 4 - dolomitic breccias - less permeable; 5 - geological boundary, normal and erosional; 6 - fault, normal and reverse; 7 - position of layer; 8 - spring, constant and periodic; 9 - swallow hole; 10 - proved underground connection; 11 - general direction of groundwater movement; 12 - borders of drainage area; 13 - line of cross-section on Fig. 4.

Vrlo su interesantne pojave malih izvora u koritu Rečine uzvodno od mjernog profila Pengari i pojave u koritu Mirne uzvodno od izvora Sv. Ivan. Voda izbija iz fliša. Izvorčići su rijetko vidljivi, jer su kod veće vode u koritu potopljeni, a u sušnom periodu vjerojatno presuše.

Hidrogeološki odnosi u priljevnom području i okolnosti pojavljivanja izvora Sv. Ivan uvjetovani su geološkom gradom, morfologijom terena i hidrološkim uvjetima. Pri tome odnosi distribucije hidrogeoloških svojstava stijena i njihova strukturnog sklopa prema pojedinim morfološkim oblicima uvjetuju tipove rubnih uvjeta podzemnih voda, a hidrološke prilike diktiraju intenzitet cirkulacije podzemnih voda i ostvarenje onih pojava koje su uvjetovane visinom vodostaja, odnosno saturiranošću podzemlja.

Srednje godišnje oborine na širem području razvoda kreću se od 1100 do 1600 mm na godinu. Gradijent porasta godišnje oborine iznosi oko 100 mm na 100 m porasta nadmorske visine (Bonacci i Magdalenić, 1993).

U morfološkom pogledu u slivu izvora Sv. Ivan izdvajaju se dvije cjeline. To su buzetsko-pazinski fliški bazen i istaknuta morfostrukturna jedinica Čićarije.

Najniži predjeli terena pripadaju fliškom bazenu. Osnovna mu je karakteristika relativno bogatstvo mrežom recipijenata s mnoštvom povremenih bujičnih tokova, jaka dislociranost padina, izrazita erozija fliških naslaga i spiranja rastrošenog materijala. Osnovno je korito rijeke Mirne koje je kod izvora Sv. Ivan na oko 50 m nadmorske visine. Rijeka Mirna nastaje spajanjem povremenih tokova Drage i Rečine na oko 60 m nadmorske visine u inače području s ponorima, izgrađenom od paleogenskih vapnenaca.

Područje Čićarije morfološki je jako izdiferencirano pojavom strmih stuba i planinskih grebena u sklopu ljuskavih struktura ili navlaka starijih stijena preko mladih. Stube Čićarije počinju na potezu Roč - Podbreg sjeveroistočno od Buzeta s kotama 270 do 330 m. Vrlo je istaknuta stuba iznad željezničke pruge na potezu Lupoglav - Roč - Nugla i dalje prema sjeverozapadu. Ta stuba je s kotama iznad 500 m. U uzdignutom masivu Čićarije posebno se izdvajaju i fliške doline na potezu Prapoče - Lanišće (oko 500 m nadmorske visine) i viša stuba Trstenik - Rašpor - Račja Vas s nadmorskom visinom preko 700 m.

Karakteristika krškog reljefa na tome prostoru očituje se u velikom broju speleoloških objekata: spilja, jama, te nekoliko ponora velike dubine. Osim podzemnih krških oblika prisutni su i površinski, posebice u obliku ponikvi. Ponikve su na mjestima brojne tako da se često međusobno dodiruju. Različitih su oblika i dimenzija. Ima bunarastih oblika sa strmim ili vertikalnim stranama do lijevkastih. Dimenzije ponikava variraju od nekoliko metara do više od 50 m. Na prostoru istočno od Lanišća Božićević (1985) registrira 10 do 15 objekata na 1 km². Ponori su poslužili da bi se odredile podzemne veze s izvorom Sv. Ivan.

3.1. Podzemne veze i granice priljevnog područja

Najdublja jama-ponor je Rašpor, utvrđena je dubina 365 m. Nalazi se uz cestu Račja vas - Trstenik. Ulaz u ponor je na koti 695 m n.m. Ulaz ponora je u flišu. Voda dotječe do ponora samo kod velikih kiša. Trasiranje ponornih voda (Veronese, 1939.) provedeno je ubacivanjem 10 kg litijskoga klorida. Analizom uzoraka vode na izvoru Sv. Ivan kroz 16 dana nije registrirana pojava litija.

Ponori kod sela Brnobići nalaze se zapadno od ceste Hum-Brnobići, a zajednička im je karakteristika da svi počinju u flišu blizu kontakta s vapnencima. Dreniraju vode iz fliškog područja oko sela Brnobići. U njima su provedena dva trasiranja tridesetih

godina (Veronese, 1939.). U prvoj seriji u ponor je ubačen Na-fluorescein (4. travnja 1930.). Uzimanje uzoraka vode na izvoru Sv. Ivan trajalo je 18 dana, a pojava boje na izvoru nije registrirana. Nema podataka jesu li opažanja vršena i na drugim izvorima. Zatim je u isti ponor ubačeno 25 kg pivskog kvasca. Opažanja na izvoru u trajanju mjesec dana nisu dala pozitivne rezultate.

Ponor u polju kod Lanišća nalazi se uz rub polja, a istražen je do 113 m dubine. Ulazni dio ponora je u kvartarnim tvorevinama, zatim prolazi kroz fliš i ulazi u vapnence. Kroz ponor se odvođe vode najnižeg dijela polja, a voda dotječe samo u kišnom periodu. Trasiranje ponora izveo je Institut "Ruder Bošković" 12. 6. 1992. god. u 19 sati ubacivanjem 400 Ci tricija uz prirodni dotok vode u ponor od 10 l/s. Uzorci vode uzimani su na izvorima u području Opatije, Medveje, Čepić polja, Boljunskog polja, rijeci Mirni uzvodno od potoka Sušak, a glavna pozornost posvećena je izvoru Sv. Ivan, gdje su uzorci vode uzimani u kraćim vremenskim intervalima. Prva pojava tricija na izvoru Sv. Ivan registrirana je nakon 11 dana, a istovremeno je registrirana pojava i u rijeci Mirni. Na izvoru Sv. Ivan zabilježene su dvije pojave maksimalne aktivnosti (nakon 12 i 20 dana). Između ta dva maksimuma istjecanje tricija jako je osciliralo. Udaljenost ponor-izvor iznosi 10,5 km. Prividna brzina kretanja podzemne vode za prvu pojavu tricija na izvoru iznosi 1,13 cm/s, za prvi maksimum 1,06 cm/s i za apsolutni maksimum 0.63 cm/s. U Kvarnerskom zaljevu, kod hotela "Kristal" u Opatiji, prva pojava tricija zabilježena je nakon 16 dana, a maksimalna nakon 19 dana. Tricij je istjecao 34 dana od ubacivanja u ponor. Snažnija aktivnost tricija bila je na izvoru Sv. Ivan. Na ostalim od promatranih lokaliteta tricij nije ustvrđen.

Ponor Prapoče također ponire kroz istanjene naslage fliša blizu granice s vapnencima. U ponor je ubačeno 400 Ci tricija (5. 12. 1979. god. u 12 sati) pri prirodnom dotoku 10 l/s vode. Najjača pojava tricija registrirana je na izvoru Sv. Ivan nešto više od dva dana nakon ubacivanja trasera. Udaljenost ponor-izvor iznosi 7.9 km, a prividna brzina iznosila je oko 4.5 cm/s. Uzorci vode uzimani su do 18. 1. 1989. god. Tijekom 1.5 mjesecnog motrenja izmjenila su se dva kišna vala s međurazdobljem niskih voda. Svaki porast razine podzemnih voda odrazio se pojačanom radioaktivnošću na izvoru. Prema podacima izvođača trasiranja (Industroprojekt iz Zagreba), osim s izvorom Sv. Ivan spominje se sveža i s brojnim drugim izvorima počevši od izvora u Kvarnerskom zaljevu (Ika) preko izvora u Čepić polju do izvora Bulaž i Gradole. Zbog nesigurnosti navedenih podataka, trasiranje je ponovljeno. Drugo trasiranje na ponoru Prapoče izveo je 30. 5. 1984. god. u 12 sati Institut "Ruder Bošković" iz Zagreba. Ubačeno je 400 Ci tricija. Uzorci vode uzimani su na svim izvorima kao kod prvog pokusa, a hidrološke prilike na ponoru bile su slične prvom trasiranju. Pojava tricija registrirana je samo na izvoru Sv. Ivan i to gotovo sav ubačeni tricij. Prva pojava tricija zabilježena je nakon 4 dana, a maksimalna koncentracija nakon 7 dana. Prividna brzina kretanja podzemne vode iznosila je oko 2,4 cm/s (Magdalenić i Vazdar, 1993).

Ponori kod mjesta Dane trasirani su dva putta i to pri malim i pri velikim vodama. Karakteristika ponorske zone je da pri niskom vodostaju voda ponire nad naseljem, a pri visokom vodostaju voda ponire u slijepoj dolini ispod naselja, te da se već pri dotoku od 30 do 50 l/s stvara kratkotrajna retencija. Prvo trasiranje obavljeno je pri malim vodama 6. svibnja 1987. god. u 14 sati sa 15 kg rodamina (Krivic i dr., 1989.). Dotok vode u ponor iznosio je 5 l/s. Uzorci vode uzimani su na izvorima Rižana, Osapska reka, Mlini, Sv. Ivan, Bulaž, te na izvorima u Opatiji kod hotela "Kristal" i "Admiral" i izvoru u Medveji. Bojenjem je dokazana sigurna veza jedino sa izvorima u Opatiji, dok je na izvorima Rižana i Mlini koncentracija rodamina bila na granici detakcije, te se pretpostavlja da je ona ostatak trasiranja provedenih 1985. i 1986. god. Na ostalim opažackim mjestima boja se nije pojavila (Krivic i dr., 1989.). Na izvorima

u Opatiji prva pojava boje registrirana je nakon 11 dana, a najjača koncentracija nakon 12 dana. Istjecanje rodamina trajalo je do 23. kolovoza, a isteklo je 1.7% ubačene količine boje. Mala količina istekle boje može se objasniti malim dotokom vode na ponoru, pri čemu se boja može zadržati u podzemlju, kao i priobalnim i podmorskim izvorima u opatijskom području s nedefiniranom količinom istjecanja. Drugo trasiranje izveo je Institut "Ruder Bošković" iz Zagreba, pomoću tricija, 27. 6. 1989. god., pri velikim vodama. Tricij se prvo pojavio na izvorima u području Opatije (hotel Kristal, Admiral i kupalište Slatina) nakon 16 dana, maksimalna vrijednost dostignuta je nakon 21 dan, a istjecanje je trajalo do 42 dana od ubacivanja trasera. Prividna brzina kretanja vode iznosila je 1.7 cm/s. Na izvoru Sv. Ivan prva pojava tricija registrirana je tek nakon 31 dan, maksimalna vrijednost nakon 34 dana, a istjecanje je trajalo do 39 dana poslije ubacivanja. Prividna brzina podzemne vode iznosila je 0.3 cm/s. Aktivnost tricija u vodi izvora Sv. Ivan bila je nekoliko puta manja nego na izvorima u opatijskom području. Uzorci vode uzimani su i u Opatiji i na izvoru Sv. Ivan do 30.09.1989. (95 dana motrenja).

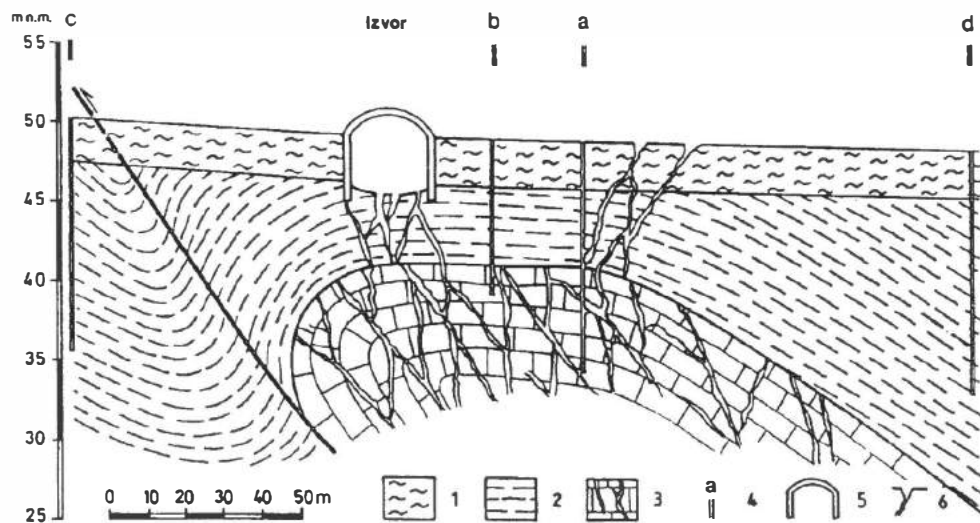
U bližoj okolini izvora Sv. Ivan trasiranje je provedeno u kanjonu Rečine (oko 1.5 km uzvodno od izvora Sv. Ivan). Ponor u kanjonu Rečine nalazi se u blizini kontakta fliških sedimenata i vapnenaca. Kod manjih dotoka (oko 20 l/s) sva se voda izgubi, dijelom u koritu ili završno u ponoru. Prvo trasiranje provedeno je tridesetih godina (Veronese, 1939.), tada je u ponor je stavljeno 10 kg pivskog kvasca i tim pokusom je utvrđena podzemna veza s izvorištem Sv. Ivan. Novija trasiranja proveo je Institut "Ruder Bošković" iz Zagreba 14.06.1989. god. s količinom od 1 Ci tricija, a pri protjecanju oko 10 l/s. Uzorci vode uzimani su na izvoru Sv. Ivan, te u rijeci Mirni uzvodno i nizvodno od izvora. Na izvoru Sv. Ivan prva pojava tricija registrirana je nakon 2,5 sata, a maksimalna vrijednost nakon 3,5 sata. Tricij je istjecao 4 dana. Na izvoru je izašlo oko 90% ubačenog tricija. Prividna brzina iznosila je 11 cm/s. U rijeci Mirni, uz most s nizvodne strane izvora, tricij je registriran nakon 7 sati od ubacivanja, a maksimalna koncentracija nakon 13 sati. S uzvodne strane izvora tricij nije registriran. Pojava tricija u rijeci Mirni vezana je za male izvore u samom koritu.

Može se općenito reći da izvor Sv. Ivan drenira jugozapadne dijelove planinskoga masiva Čičarije. Sjeveroistočna granica sliva ima i regionalno značenje, jer dijeli vode s jedne strane prema Istri i s druge strane prema Kvarnerskom zaljevu.

Površina i granice priljevnog područja izvora određene su na osnovi geoloških i strukturnih odnosa u terenu, hidrogeološke funkcije stijena, hidrogeoloških pojava, te rezultata trasiranja podzemnih voda (sl.1), a potvrđena je na osnovi hidroloških veličina, tj. odnosa oborine koja padne i otječe. Ta površina iznosi oko 70 km². Od toga na krško područje otpada 46 km², a na fliš 24 km². Takvo rješenje slivnog područja zahvaća predjele pretežitog dreniranja prema izvoru Sv. Ivan, dio voda pri visokim vodostajima otječe površinski, a dio podzemnih voda otječe i prema drugim izvorima, pa prema tome razvođe ima zonarni karakter.

3.2. Režim izvora Sv. Ivan

Izvor Sv. Ivan nalazi se u dnu ljevkaste doline rijeke Mirne, oko 1 km jugoistočno od Buzeta. Širina doline iznosi oko 500 m, a nadmorska visina je oko 49 m. Kaptazna armirano- betonska građevina iznad izvora kružnog je oblika s polumjerom od 22 m, a utemeljena je u laporima na oko 4-5 m ispod razine terena. Iz zahvatne građevine voda se odvodi pomoću cijevi na oko 4 m isod razine terena do zgrade za kondicioniranje vode. U njoj su ugrađene crpke s usisnom košarom na oko 4 m dubine, pa takvo rješenje zahvata omogućava ostvarenje sniženja u sušnim razdobljima.



Sl.2. Detaljni hidrogeološki profil izvora Sv. Ivan. Oznake: 1 - kvartarne gline; 2 - fliške naslage; 3 - okršeni vapnenci; 4 - istraživačke bušotine (prema Veronese,1939); 5 - zahvatno zvono; 6-povremeni izvori.

Fig.2 Detailed hydrogeological cross - section. Legend: 1 - Quaternary clays; 2 - flysch deposits; 3 - karstified limestones; 4 - bore holes; 5 - capture of spring; 6 - periodic springs.

Osim zahvaćenog izvora Sv. Ivan u neposrednoj blizini nalazi se još desetak manjih ili većih jezeraca iz kojih povremeno ili stalno istječe voda. Svi zajedno čine izvorišnu zonu. Kod većih voda prorade svi okolni izvori kao preljevne vode glavnog izvora. Njihov zajednički mehanizam potvrđen je eksperimentalno. Pri podizanju kote preljeva na glavnom izvoru proradili su okolni izvori na isti način kao i pri dotoku velikih voda. Najveći povremeni izvor, u južnom dijelu, otječe izravno u rijeku Mirnu, a ostali su svedeni u kanal kojim se odvođe preljevne vode s glavnog izvora. Registrirano je deset pojava, od toga su tri u odvodnom kanalu, a ostali su vidljivi na površini. Na jednom od izvora, u blizini upravne zgrade, osjećao se miris na H_2S . Danas je taj izvor prekriven, ali se na njegovom mjestu povremeno osjeća lagani miris na H_2S . Za tri izvora u odvodnom kanalu procijenjeno je da im minimalna izdašnost iznosi oko 35 l/s. Oni se uključuju u vodoopskrbu kod malih izdašnosti glavnog izvora. O količini vode na ostalim izvorima nema podataka. Na povremenom, nekaptiranom izvoru između Mirne i glavnog izvora procijenjena količina u kišnom razdoblju prelazi 100 l/s (29. 3. 1992.).

Dio doline Mirne u kojemu se pojavljuje izvor S. Ivan izgrađuju fliške naslage prekrivene kvartarnim tvorevinama. U podlozi fliša nalaze se vapnenci. Na užem području izvora izvedeno je 7 istraživačkih bušotina dubine od 10 do 15 m (Veronese, 1939.). Vapnenci su nabušeni u dvije bušotine, a na ostalih 5 bušotina bušenje je završeno u flišu. Pri iskopu temelja za novu halu za pročišćavanje vode lapori su registrirani na 6 m dubine. Podzemna voda registrirana je u tri od šest sondažnih jama i to na dubini od 2,5 do 3 m.

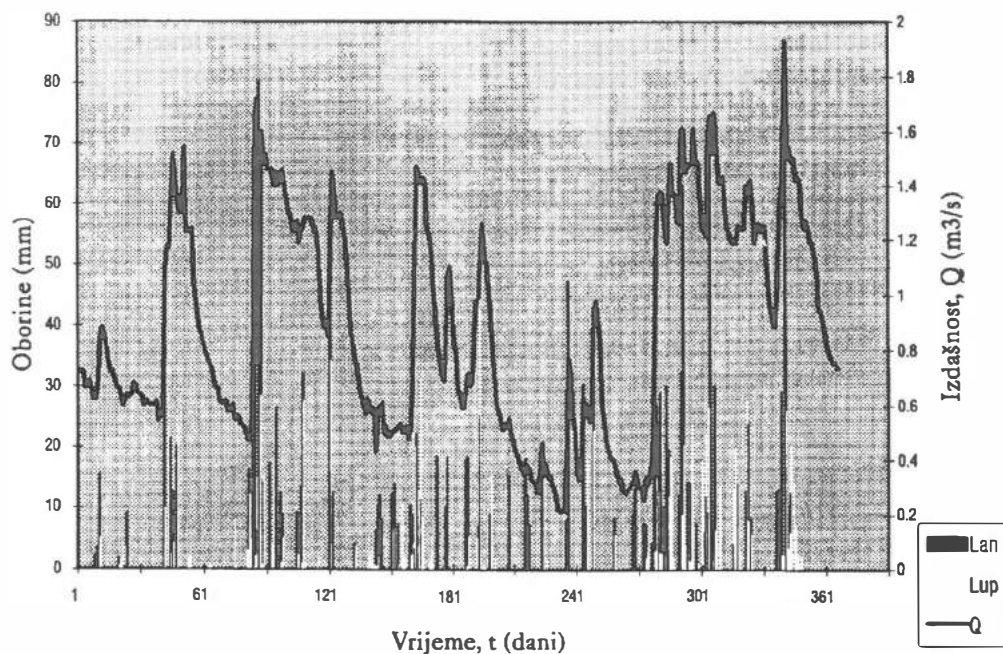
Odnosi na samom izvoru i mehanizam pojavljivanja izvora Sv. Ivan ilustrirani su na slici 2. Prema geološkoj strukturi okružja i podacima o hidrauličkom ponašanju izvorišne zone zaključuje se da se prodor vode pojavio na tjemenu izlomljene i

okršene prebačene antiklinale paleogenskih vapnenaca, a kroz tektonski ispucale fliške naslage. Tako je stvoreni pojas uzlaznih izvora iz krškog vodonosnika s dobrom povezanošću pojedinih mjesta izviranja.

Tablica 1. Minimalne i maksimalne izdašnosti izvora SV. Ivan

Godina	Izdašnost izvora		Odnos
	Q_{\min} (m ³ /s)	Q_{\max} (m ³ /s)	$Q_{\min} \cdot Q_{\max}$
1936	0.21	2.20	1 : 10.5
1937	0.47	1.76	1 : 3.7
1938	0.25	1.56	1 : 6.2
1938	0.342	1.60	1 : 4.7
1940	0.52	1.72	1 : 3.3
1989	0.144	1.82	1 : 12.6
1990	0.194	1.20	1 : 6.2
1991	0.130	1.67	1 : 12.9
1992	0.210	1.83	1 : 8.7
1993	0.220	2.30	1 : 10.5

Izdašnost izvora je relativno ravnomjerna. Budući da je izvor kaptiran, njegova izdašnost u sušnom razdoblju opadne na crpnu količinu koja se kreće u rasponu od 150 do 220 l/s. Maksimalna izdašnost povremeno premašuje 2000 l/s. Karakteristične izdašnosti prikazane su za prvih i zadnjih 5 godina motrenja na tablici 1. Vidljivo je da se odnos minimalne i maksimalne izdašnosti izvora kreće oko 10, no budući da je izvor kaptiran i postoji mogućnost za sniženje vodostaja ispod razine terena, odnos Q_{\max}/Q_{\min} više ovisi o crpnoj količini u sušnom razdoblju nego o maksimalnim izdašnostima. Navedene vrijednosti su nesumljivo opterećene pogreškama uzrokovanim poteškoćama u mjerenju istjecanja iz izvorišne zone u zaravljenom terenu, no i pored toga ističu se dvije osnovne značajke režima izvora: relativno velika minimalna izdašnost i relativna ujednačenost maksimalnih izdašnosti u odnosu na uobičajene hidrološke uvjete na krškim izvorima. Porast izdašnosti nakon pljuska je relativno nagla. Tako je 10. 6. 1992. ujutro na preljevu izvora Sv. Ivan izmjereno 800 l/s. Voda je bila bistra. U podne je pala kiša velikog intenziteta i na preljevu je u 18 sati udvostručena količina protjecanja, a u 21 sat vodostaj je bio u opadanju. Voda je veći dio godine bistra. Veće mutnoće pojavljuju se nakon jačih oborina i zadržavaju se nekoliko dana. Kemijski su pokazatelji, bitni za sanitarnu kvalitetu vode, ispod vrijednosti koncentracije određenih Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode. Temperatura vode glavnog izvora varira u uskom rasponu od minimalnih 10,5 °C do maksimalnih 17,0 °C. Raspodjela temperatura vode u tijeku godine prati godišnji hod temperatura zraka.



Sl.3. Hidrogram izvora Sv. Ivan i pluviograf postaja Lanišće i Lupoglav (01.01.-31.12.1992).

Fig.3. Hydrograph of Sv. Ivan spring and recording gage Lanišće and Lupoglav (01.01.-12.31.1992).

3.3. Odnos izvora Sv. Ivan i Tombazin

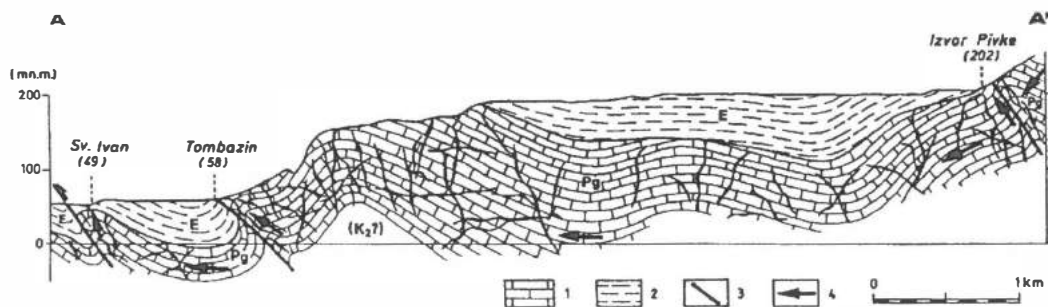
Pri pojavi velikih voda na izvoru Sv. Ivan pojavljuju se i dva povremena izvora na rubu doline uz kontakt fliša i vapnenaca. To su izvor Tombazin na desnoj obali Mirne i jedan bezimena na lijevoj obali Mirne.

Izvor Tombazin se nalazi neposredno nizvodno od sastavaka Rečine i Drage, dvadesetak metara od korita Mirne na mjestu gdje reverzni rasjed dodiruje rub doline Mirne. To je jako, povremeno krško vrelo. Vrelo je uzlaznog tipa. Na izvoru ne postoje redovita motrenja. Između 1970. i 1975. god. mjereno je protok 8 puta i registrirane su izdašnosti od 50 l/s do 3 420 l/s (Istarski vodovod, 1984.). Prema tim podacima, a i kasnijim povremenim zapažanjima, količina istjecanja na izvoru Tombazin pri maksimalnim vodostajima je veća od maksimalne količine vode na izvoru Sv. Ivan.

Potreba uključivanja izvor Tombazina u sustav hidroloških motrenja pokazala se i prigodom poplava nastalih 17.-18. listopada i 5.-7. prosinca 1992. god. Tada je zapaženo da od izvora u gornjem toku rijeke Mirne jedino je na izvoru Tombazin postojala koincidencija velikih voda izvora i površinskih voda (Rubinić, 1994.a). Istovremeno je izdašnost izvora Sv. Ivan iznosila 1610 l/s (17.10. 92.) odnosno 1830 l/s (6.12.92.). Vršni dijelovi hidrograma izvora Sv. Ivan su odrezani gotovo za sve slučajeve kada izdašnost izvora premaši 1200 l/s (sl.3).

Na lijevoj obali rijeke Mirne, u blizini staroga korita rijeke, pojavljuje se još jedan snažni povremeni izvor. Nalazi se u neposrednoj blizini reverznog rasjeda trasa koji vjerojatno prolazi i pokraj izvorišne zone Sv. Ivan (sl. 1 i 2), no pokrivenost kvartarnim naslagama otežava identifikaciju u ovom predjelu. Izvor nema svoga imena, vjerojatno zbog toga jer je bio maskiran starim rukavcima, u okolici je žbunje, aktivira

se samo pri poplavnim vodama pa je vrlo nepristupačan opažanjima. Procjene njegove izdašnosti su oskudne, raspolaže se samo s jednim podatkom da mu je 31.03. 1990. izdašnost iznosila oko $1 \text{ m}^3/\text{s}$, no nakon povlačenja poplavnih voda redovito su dobro vidljivi tragovi tijeka vode.



Sl.4. Shematski hidrogeološki profil duž korita rijeke Drage i Pivke s ilustracijom odnosa izvora Sv. Ivan, Tombazin i Pivka. Oznake: 1 - vapnenci; 2 - fliš; 3 - rasjed; 4 - smjer kretanja podzemne vode.

Fig. 4 Schematic hydrogeological cross-section along the Draga and Pivka river valleys with illustration of relations on the Sv. Ivan, Tombazin and Pivka springs. Legend: 1 - limestones; 2 - flysch; 3 - fault; 4 - direction of groundwater movement.

U cijelom priljevnom području izvora Sv. Ivan postoji još samo jedan krški izvor. To je izvor Pivke, koji se nalazi na višem morfološkom platou na koti 202 m n.m. Taj se izvor aktivira samo pri najvećim poplavnim vodama. Primjerice, 31.03.1990, nakon trodnevnih kiša na Čičariji, na izvoru Tombazin istjecalo je više od $2 \text{ m}^3/\text{s}$ vode, a na izvoru na lijevoj obali Mirne oko $1 \text{ m}^3/\text{s}$, na izvoru Sv. Ivan $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Istovremeno na izvoru Pivke nije bilo vode.

Opisani mehanizam krških izvora u porječju rijeke Mirne, uzvodno od izvora Sv. Ivan, ilustriran je na slici 4. U tom sustavu hipsometrijski najviši izvor Pivke aktivira se samo pri vrlo obilnim kišnim razdobljima kada količina poniranja vode premaši prijenosne domete krškog podzemlja. U svim ostalim prilikama podzemna voda cirkulira kroz vapnence ispod fliških naslaga i redovito se izljujeva na izvoru Sv. Ivan. Pri visokim vodostajima, kada razina podzemne vode poraste iznad razine površinskog dodira fliških naslaga u dolini Mirne i rubnih vapnenaca, aktiviraju se rubni izvori, tako da i njih možemo promatrati kao izvorišni pojas. Dominantan je izvor Tombazin, vjerojatno zbog veće propusnosti naslaga. U tome mehanizmu značajne su dvije pojave. Uzvodno od izvora Tombazin, u koritu Rečine nalazi se ponor, u koji ponire do 20 l/s. Veće protoke prelaze ponor, pa je njegovo promatranje nedostupno, no može se očekivati da se kod visokih vodostaja preobrazi u izvor kao dio pojasa izvorišne zone Tombazina. Druga pojava je značajnija s gospodarstvenog stajališta, a odnosi se na postojanje značajne akumulacije podzemnih voda u krškom vodonosniku ispod kote preljeva izvora Tombazin i mogućnosti njihove upotrebe u sušnom razdoblju godine.

4. Zaključak

Hidrogeološki odnosi u okviru razvođa izvora Sv. Ivan doveli su do specifičnog mehanizma akumuliranja i istjecanja podzemnih voda. Značajna akumulacija podzemnih voda ostvarena je strukturnim sklopom naslaga u kojemu su paleogenski i kredni okršeni vapnenci prekriveni eocenskim flišom upravo u hipsometrijski najnižim predjelima sliva. Formirani rubni uvjeti i visoka propusnost krškog vodonosnika omogućavaju relativno visoke minimalne izdašnosti izvora Sv. Ivan i dovode do relativno malih odnosa minimalne i maksimalne izdašnosti. Pri tome presudnu ulogu u regulaciji maksimalnih izdašnosti na izvoru Sv. Ivan ima povremeni izvor Tombazin, koji u stvari predstavlja preljevanje podzemnih voda iz krškog vodonosnika pri ekstremnim vodostajima. Ti izvori, kao i cijeli niz izvora uz korito Mirne, vjerojatno predstavljaju široku i raznoliku izvorišnu zonu istoga krškog vodonosnika sa značajnom akumulacijom podzemnih voda u sušnome razdoblju.

Postignuti rezultati provedenih analiza ukazuju da bi u daljnjim istraživanjima mogućnosti i dometa u upotrebi akumuliranih podzemnih voda posebnu pozornost trebalo posvetiti promatranju odnosa pojedinih izvora, distribuciji tlakova u vodonosniku pri različitim hidrološkim uvjetima i hidrogeološkoj strukturi vodonosnika.

Literatura

- Bonacci, O., and Magdalenić, A. (1993): The Catchment Area of the Karst Spring Sv. Ivan in Istria (Croatia). *Ground Water*, Vol. 31., No 5, pp. 767 - 773, Dublin, USA.
- Božičević, S. (1985): Morfogeneza speleoloških pojava Istre i njihova zavisnost o geološkim i hidrogeološkim uvjetima. Disertacija. Arh. RGN fakultet, Zagreb.
- Istarski vodovod (1984): Pola stoljeća Istarskog vodovoda. 1.-148., Arh. Istarski vodovod, Buzet.
- Krivic, P., Bricelj, M., Zupan, M. (1989): Podzemne vodne zveze na području Čičarije in osrednjega dela Istre. *Acta carsologica*, XVIII, 265. - 295., Ljubljana.
- Magdalenić, A., Vazdar, T. (1993): Hidrogeološka interpretacija trasiranja podzemnih voda u središnjoj Istri. *Hrvatske vode*, 1 (1993) 4, 231. - 238., Zagreb.
- Rubinić, J. (1994): Hidrološki aspekti gospodarenja akumulacijskim vodnim prostorima u Istri. *Hrvatska vodoprivreda*, III, 26., 31.-34., Zagreb.
- Rubinić, J. (1994a): Vodoprivredni godišnjak istarskih slivova. JVP za slivno područje istarskih slivova, Labin.
- Vazdar, T., Hlevnjak, B., Magdalenić, A. (1994): Zaštita krških izvorišta pitke vode u središnjoj Istri. Zbornik referatov mednarodnog strokovnog posvetovanja "Problematika kakovosti pitne in odpadne vode", 110.-125., Rogaška Slatina.
- Veronese, G. (1939): *Appunti per la storia del Grande acquedotto Istriano*. III. Progetto Esecutivo. I. Lotto, Societa Cooperativa Tipografica, Padova.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Petar Stojić

R 4-06

Akumulacija Lar - Iran ispitivanje kaverne br. 2 vodom pod tlakom

SAŽETAK: Akumulacija Lar - Iran dugo godina je bila predmet širih stručnih rasprava u inozemnim tehničkim časopisima. Razlog se nalazio u činjenici da su istražne radove, projektnu dokumentaciju i izgradnju izvele, u svjetskim mjerilima poznate europske organizacije, a vodoizdrživost akumulacije nije ostvarena. Sto više, gubitak vode iz akumulacije od cca 10.0 cu.m./sec. bio je jako blizu srednjem godišnjem protoku rijeke Lar. U tijeku izvođenja istraživačko-injekcijskih radova za sprečavanje gubitaka vode iz akumulacije, na velikoj dubini od 180 m ispod temelja brane, otkrivena je kaverna površine oko 1100 sq.m., za koju je kod mnogih specijalista postojalo uvjerenje da se radi o glavnom "putu" gubitaka vode iz akumulacije. Ispitivanja kaverne ubrizgavanjem vode gravitacijom i pod tlakom potvrdila su prethodno formirana stajališta da su gubici preko te kaverne relativno skromni i da je splet kavernoznih pojava u podzemlju u širem području predgradnog profila znatno složeniji. Polazne postavke izvođenja injekcijskih radova, koje su bile date tenderskom dokumentacijom, te količine i vrste radova trebale su se osjetno izmijeniti. Nestrpljenje i nesporazumi, uvjetovani težinom problema, nisu se mogli izbjeći. Neuspjeh u "pregrađivanju" podzemnih tokova relativno velikih brzina, koji su kasnije otkriveni, usmjerio je tehnička rješenja u drugom pravcu.

KLJUČNE RIJEČI: Akumulacija, podzemni tok vode, razine podzemne vode, krš, kaverna, fosilni kanali, piezometarske bušotine, sanacijski radovi, injekcijska zavjesa, ispitivanja, pokusi vodom

Lar Reservoir in Iran

ABSTRACT: The Lar Reservoir in Iran was a topic of discussions in foreign technical journals for years. The reason was the fact that the investigation works, design documentation and construction were performed by esteemed European companies which respected the global criteria in their work, and yet impermeability was not achieved. Moreover, the reservoir water losses of 10.0 m³/s were very close to the annual discharge of the Lar River. During performance of investigation and grouting works for prevention of reservoir water losses a 1.100 m² cavern was detected at the depth of 180 m under the dam foundation. Many specialists believed that this was the main water loss "passage". The investigations were performed on the cavern so that the water was injected by gravitation and under the pressure. The results confirmed earlier attitude that the losses through this cavern were comparatively modest and that the cavernous network in the underground of the broader dam area is much more complex. The basic postulates for performance of grouting works given in the tender documentation were that the quantity and type of works should have been considerably modified. Impatience and misunderstanding caused by gravity of the problem were inevitable. The unsuccessful "damming" of subsequently detected underground flows of comparatively large velocities turned technical solutions in other direction.

KEY WORDS: reservoir, underground water flow, groundwater table, karst, cavern, fossil channels, piezometric boreholes, remediation works, grout curtain, testing, water tests

1. Uvod

Nasuta brana Lar visine 105 m i dužine u kruni oko 1100 m (obujam nasipa 21.000.000 m³) osigurava prostor korisnog obujma 960.10⁶ m³ kod maksimalne kote uspora 2531 m n.m.. Akumulacija Lar je višenamjenska i ima ulogu višegodišnjeg izravnavanja ($V_k = 2.24 V_r$). Ona osigurava vodu za piće Teheranu, služi za natapanje nizvodnog poljoprivrednog područja (225x10⁶ m³) i za proizvodnju energije u energetske stepenici HE Kalan ($Q_i = 18.5 \text{ m}^3$, $N_i = 3 \times 38.5 \text{ MW}$).

U tijeku prvoga punjenja akumulacije u hidrološkoj godini 1980./81. do kote 2481 m n.m. registrirani su značajni gubici vode i to porastom protjecaja na izvorima Haraz (2130 m n.m.), koji su udaljeni cca 9 km i koji su u prirodnim uvjetima imali protok oko 0.5 m³/s, te pojavom vode na izvorima Lar Gorge (2230 m n.m.), koji su udaljeni cca 4.8 km; izdignuti su iznad sadašnjeg korita rijeke Lar i u prirodnim uvjetima nisu imali vodeni tok.

Maksimalni gubitak od cca 10 m³/s (Haraz oko 6.5 m³/s i Lar Gorge oko 3.5 m³/s) primjećen je u hidrološkom ciklusu 1982./83. godine kod uspora na koti 2496.97 (2497) m n.m.. Kada se ima u vidu srednji godišnji protok od 13.5 m³/s, tada se problem u svojoj ozbiljnosti jasno ističe. Kod podizanja razine vode u akumulaciji iznad kritične kote uspora, aktivirali su se ili su se otvorili novi fosilni putevi zbog ispiranja. Steže se utisak da se toj činjenici, u tijeku realizacije projekta i izgradnje brane, nije pridavao veći značaj. Projekt je izradila poznata engleska organizacija Sir Alexander Gibb and Partners. Izgradnja je bila povjerena talijanskoj grupaciji Impergilo (Impresit-Girola-Lodigiani) i iranskoj firmi Tessa. Injekcijske radove izvodila je njemačka firma J. Keller.

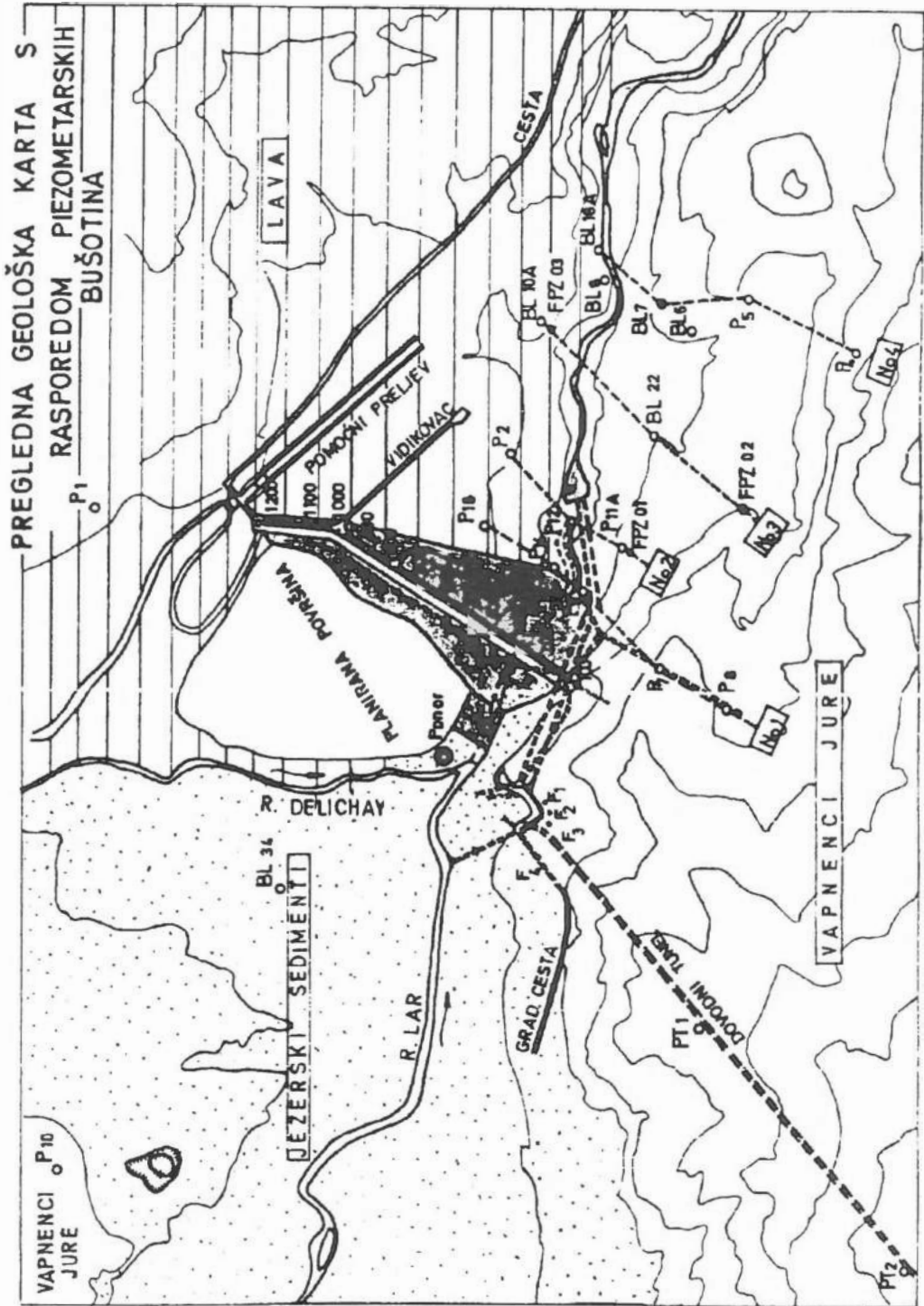
Realizacija sanacijskih radova povjerena je poduzeću Geotehnika, Zagreb. Licitacijski elaborat za sanacijske radove izrađen je od strane Lar Consulting Bureau (LCB), a projektna dokumentacija od stručnog tima LCB-a. Projektna dokumentacija bila je podložna suglasnosti i reviziji Tehničkoga komiteta iranskih specijalista i pozvanih eksperata iz raznih zemalja i organizacija, u okviru Teheran Regional Water Boarda, koji je pod nadležnošću Ministarstva za energiju.

2. Kaverna br. 2

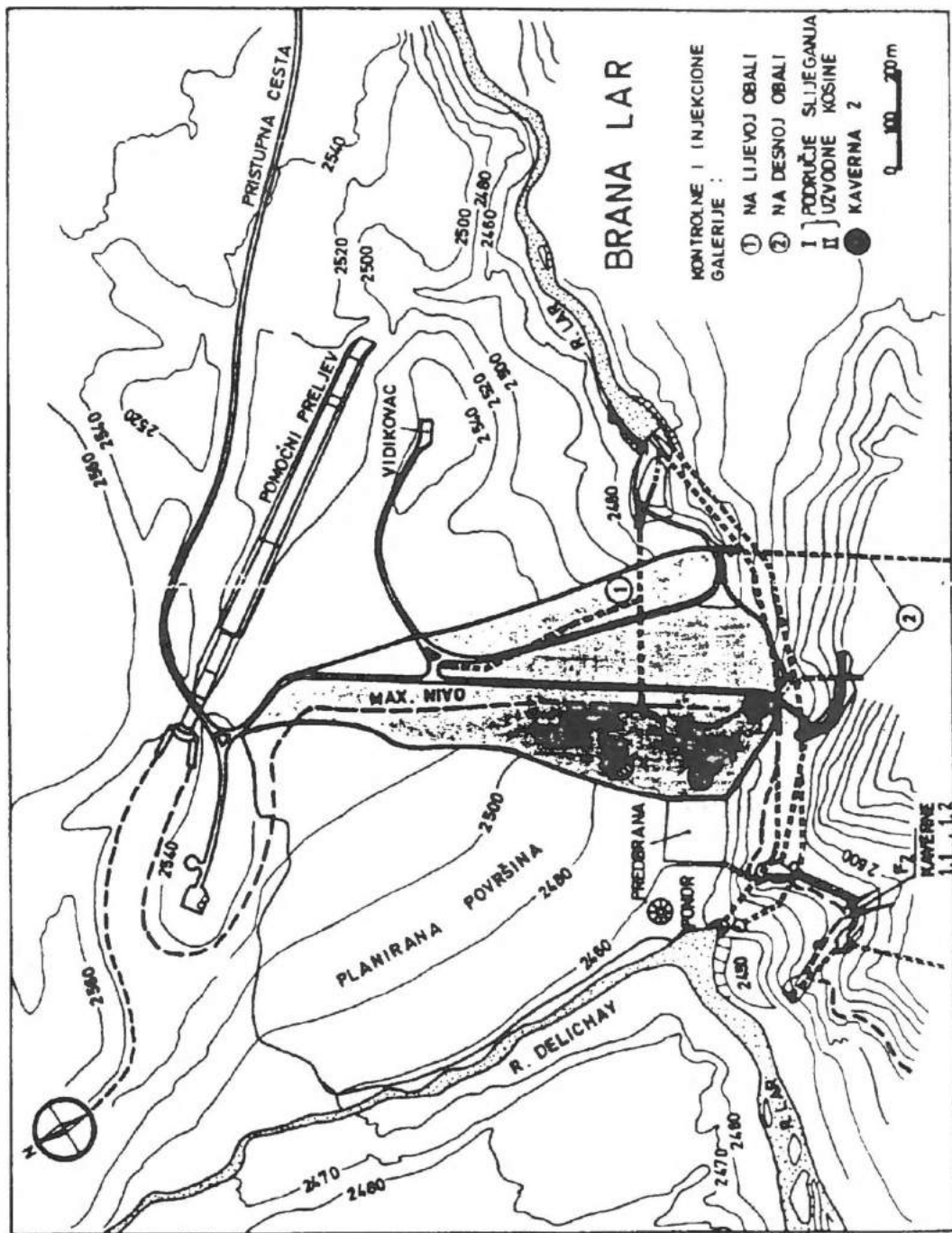
Kompleksnost i značaj problema uvjetovali su da se postupnim prikupljanjem novih podataka, pomoću istražno-injekcijskih bušotina, spozna koji je najracionalniji put za rješenje problema gubitaka vode iz akumulacije, jer su tender i raspoloživa dokumentacija bili nedostatni. Polazna pretpostavka u toj dokumentaciji, da se radi o pukotinskoj poroznosti, nije izgledala prihvatljivom za tako značajne gubitke. Takvoj poroznosti davali su značaj i neki eksperti u svojim izvještajima.

Na desnoj obali, uzvodno od brane, koja je prvim pregledom ocijenjena kao kritična, kod izvođenja prve grupe istražnih bušotina "F", na vertikalnoj bušotini F2 otkrivene su kaverne i to Kaverna br. 1.1 na dubini 2344.0 - 2334.2 m n.m. i Kaverna br. 1.2 na dubini 2279.4 - 2277.8 m n.m.. Na toj bušotini, koja je bila udaljena cca 150 m od usporenog nivoa u akumulaciji, razina vode bila je niža za cca 170 m. Takav gradijent na relativno maloj udaljenosti bio je rijedak u praksi. Iranski specijalisti nisu prihvaćali prijedlog (i pozvanih specijalista) da se u tom području poduzmu tehnički zahvati (slika 1).

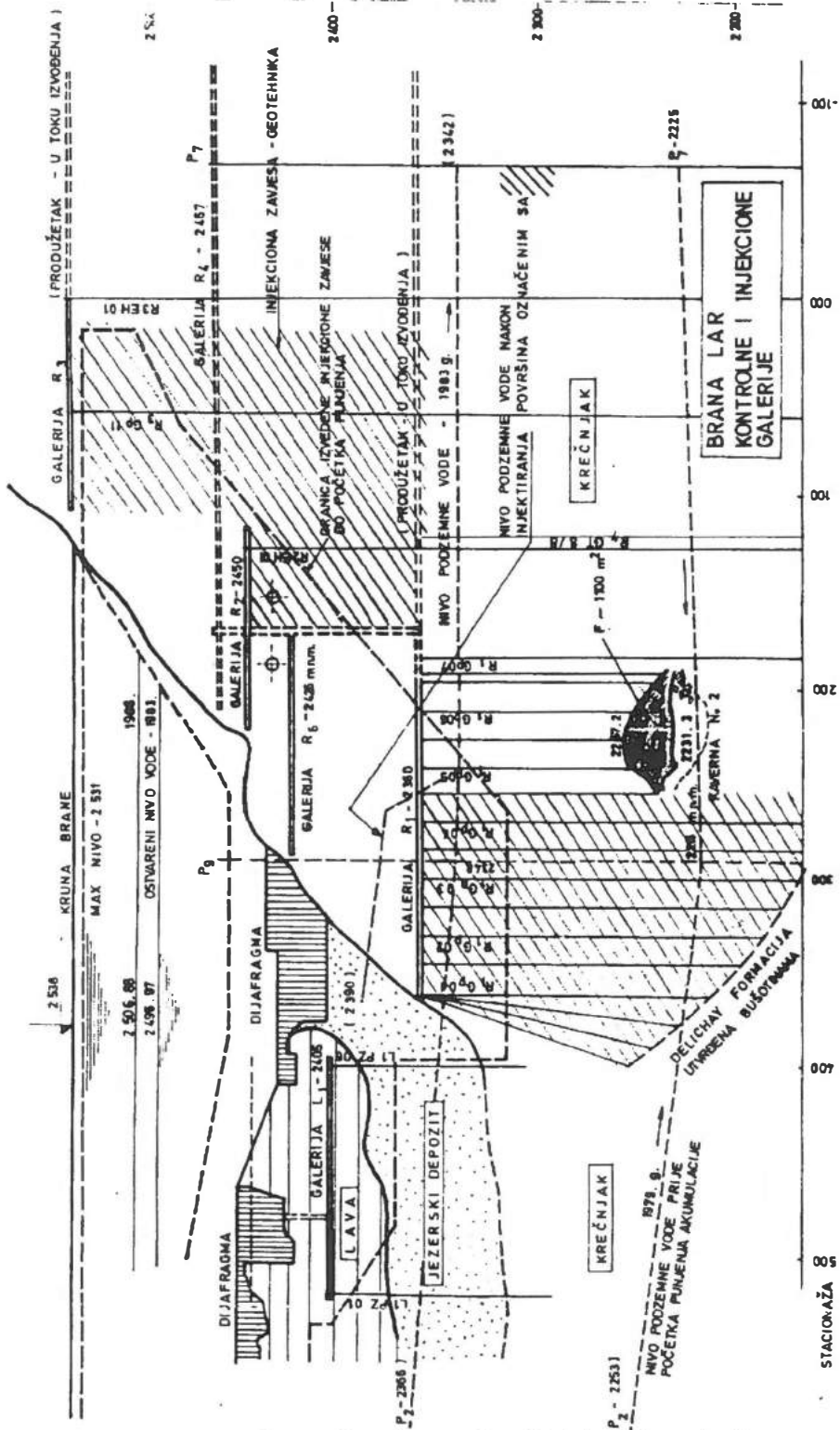
Općenito, najveće značenje od svih sudionika dato je injekcijskoj kontrolnoj galeriji R₁ na desnoj obali na koti 2360 m n.m. (slika 2), jer je ustanovljeno da ona pokriva



Slika 1.: Pregledna geološka karta s rasporedom pijezometarskih bušotina



Slika 2.: Brana Lar



Slika 3.: Brana Lar, kontrolne i inekcijske galerije

područje najnižih razina vode u prirodnim uvjetima (slika 3). Petom primarnom istraživačko-injekcijskom bušotinom (metoda postupnog približavanja) otkrivena je ispod galerije Kaverna br. 2 - broj označava redoslijed otkrivanja. Kaverna je otkrivena između kote 2257.2 - 2231.3 m n.m., odnosno oko 180 m ispod temelja brane ili 133 m ispod galerije R₁. Kaverna visine 26 m i širine oko 70 m ima površinu oko 1100 m². Stvarno dno kaverne otkriveno je ispod deponiranoga pijeska u kaverni i nalazi se nešto niže od najniže utvrđene prirodne razine podzemne vode u tome području (slika 3). Geofizičkim metodama i na osnovi pada pijezometarskih razina utvrđeno je da postoji tok vode u kaverni.

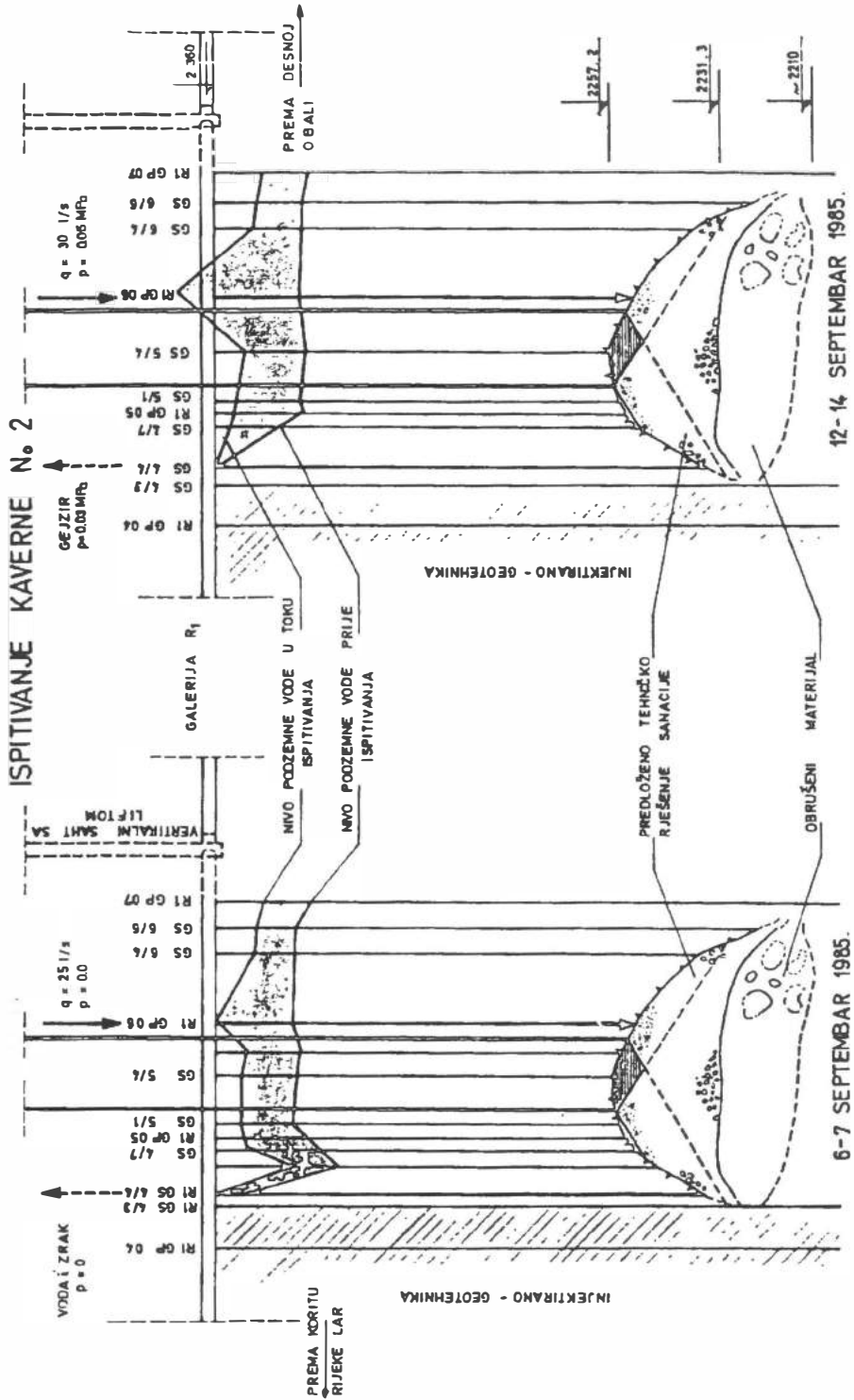
Razdraganost otkrićem tako velike kaverne uzrokovala je kod mnogih uvjerenje da je otkriven glavni "put" gubitaka. Međutim, postojanje kaverni na desnom boku, uzvodno od brane, s jako niskim razinama podzemne vode ispod razine u akumulaciji (bušotina F₂), nalagali su oprez u zaključivanju. Na to je upućivalo i ponašanje pijezometara nizvodno od brane na desnoj i lijevoj obali (slika 1). Na osnovi pada pijezometarskih nivoa u bušotinama oko kaverne i hidrauličkih zakona za tok vode u tlačnim sustavima, zanemarujući gubitke, teorijske brzine vode u kaverni, za različite uvjete, bile su jako visoke: 0.63 - 16.18 m/s. Geofizičkim istraživanjima utvrđene su znatno niže brzine toka vode u kaverni i to na pojedinim točkama u granicama 0.38 - 1.73 cm/s. Na osnovi toga proizlazio je zaključak da u kaverni postoji veliki otpor toku. Kasnije je to potvrđeno kosim bušotinama, kojima je utvrđeno nizvodno suženje i "koljeno" na udaljenosti cca 35 m od uzdužne osovine galerije R₁. Rezultati geofizičkih mjerenja nailazili su na osporavanja, jer su traserima utvrđene srednje brzine podzemnih tokova prema izvorima Haraz 8.8 cm/s, a prema Lar Gorge 7.1 cm/s. Na temelju ponovljenih bojenja, geofizičkih mjerenja i hidrauličke sličnosti srednje brzine toka vode u Kaverni br. 2 kretale su se u granicama 0.36 - 0.44 cm/s.

Na osnovi hidrauličkih odnosa na izvorima Haraz u prirodnim uvjetima i nakon punjenja akumulacije, i odnosa razina na pijezometrima, proračunati protok u Kaverni br. 2 za istražene uvjete trebao je biti u granicama 0.76 m³/s za linearne odnose, odnosno 0.62 m³/s za kvadratni zakon odnosa. Za daljnje akcije veliko značenje je imao prognozirani protok u kaverni. Mnoge eksperte iznenaduje djeluje priopćenje da se protok u kaverni kreće, u uvjetima akumulacije, između 1.0 m³/s i 4.0 m³/s, ovisno o hidrauličkim odnosima razina vode u podzemlju i akumulaciji, i da su protoci vrlo vjerojatno bliži nižim vrijednostima.

S obzirom na brzine vode u kaverni i podzemnim kanalima za zapunjavanje kaverne i prekid toka vode predložene su dvije bušotine ϕ 300 mm, koje su se trebale izvesti s krune brane. Preko bušotina u kavernu bi se ubacio šljunak zrna 20-100 mm, "prepakt" beton izveo bi se injekcijskim bušotinama iz galerije R₁. Ovaj prijedlog, iako ga je usvojio Tehnički komitet, nije realiziran. Iz galerije su izvedene bušotine ϕ 146 mm, za zapunjavanje, upotrijebljen je uglavnom pijesak i šljunak zrna 5-40 mm, prepakt beton nije izveden, nego "kapa" od cementnog maltera. U kavernu je nasuto 28.007 m³ pijeska, 2493 m³ materijala iz iskopa galerije R₇ i 10.526 m³ cementnog maltera. Radovi na potpunom zatvaranju protočnog profila nisu izvršeni. Vjerojatno će to biti i ostati sporni problem u budućnosti.

3. Ispitivanje kaverne br. 2 ubrizgavanjem vode

U tijeku radova na zapunjavanju kaverne uočene su neuobičajene pojave na susjednim pijezometarskim i injekcijskim bušotinama: promjene u razinama vode, zvučne pojave zraka i vode na ušćima nekih bušotina, izbijanje "čepova" zatvorenih bušotina itd. Dogovorom na gradilištu, odlučeno je 6. rujna 1985. godine da se jedan broj



Slika 4.: Galerija R₁ - ispitivanje Kaverne br. 2

izvedenih vertikalnih i kosih bušotina (uzvodnih i nizvodnih) iskoristi za hidrauličko ispitivanje kaverne kao modela "in situ" mjerila 1:1. Taj do tada nepoznat test izveden je ubrizgavanjem vode gravitacijom u trajanju 4 sata (P. Stojić, J. Jukica). Za ispitivanje je odabrana vertikalna bušotina GP-06 (slika 3 i 4). Na ušću bušotine kod slobodnog toka bez tlaka protok je bio oko 20 l/s. Ispitivanjem je utvrđeno sljedeće:

- Između kaverne, injekcijskih i pijezometarskih bušotina postoji razgranata mreža podzemnih uzdužnih i poprečnih veza;
- Poprečni presjek kaverne složenog je oblika i vjerojatno se sastoji od nekoliko odvojenih i međusobno povezanih dvorana, njihove veze mogu imati dimenzije cijevi;
- U kaverni su utvrđeni vrtložni tokovi uzvodno i nizvodno, a odnosi razina vode upućivali su na zaključak da kontrolirane bušotine ne pripadaju istom hidrauličkom sustavu u smislu toka vode (min. četiri različita toka);
- Između Kaverne br. 2 i udaljenih pijezometarskih bušotina na desnom toku uzvodno od brane cca 400 m (grupa bušotina "F") postoji međusobna veza. Ta veza poslije je potvrđena traserima preko bušotine F₂ (Kaverne 1.2 i 1.2).

Ispitivanje je na zahtjev iranskih inženjera ponovljeno 12. rujna jer su za njih rezultati prvog ispitivanja bili teško prihvatljivi. Činjenica da su rezultati bili, a neki su i ostali, teško objašnjivi.

Za ispitivanje je odabrana ista bušotina GP-06, ali je tok na ušću bušotine bio pod tlakom 0.06 MPa, a protok oko 30 l/s (P. Stojić, J. Jelaly, F. Esfendiari). Pojave utvrđene prvim ispitivanjem sada su bile jače naglašene. Posebno treba istaknuti:

- Utvrđena je veza između Kaverne br. 2 i pijezometarske bušotine P₁₀ na lijevom boku akumulacije uzvodno od pregradnog profila cca 2200 m (slika 1);
- Na bušotinama grupe "F" na desnom boku utvrđen je efekt dimnjaka: izlaženje i uvlačenje zraka (chimney and revers chimney effect);
- Izdizanje razine vode na nekim bušotinama, izraženo metrima visine stupca vode, veće je od 6 m injekcijskog pritiska vodom na bušotini GP-06;
- Erupciju zraka, čiste i muljevite vode na bušotini GS-4/4 (slika 4) pratili su uzbuđujući i zastrašujući zvučni efekti.

Rezultati izvršenih opita, sa ostalim prikupljenim informacijama, također su ukazali da najvjerojatnije u blizini Kaverne br. 2 ili ispod nje postoji jedan ili više satelitskih kanala koji mogu biti glavni putevi gubitaka vode iz akumulacije. Nažalost, ova do tada pretpostavka, postala je neugodna stvarnost. Naime, na kasnije produbljenoj bušotini GP-07 (slika 3 i 4) utvrđena je na velikoj dubini - cca 230 m ispod galerije R1 - između kota 2130 i 2122 m n.m. kaveronožna zona i kanal koji je značajan put gubitaka vode. U nastavku izvođenja istražno-injekcijskih bušotina, na susjednoj bušotini GT-7/2 otkrivene su dvije manje kaverne skoro na istoj dubini (230.0-243.5 m i 253.0-265.5 m). Međutim, na bušotini GT-8/8, koja je udaljena od GP-07 oko 60 m, otkrivene su kaverone zone na dubinama 312.3-318.5 m i 369.6-385.3 m.

Podzemni tok vode koji je utvrđen na bušotini GP-07, na dubini koja odgovara izvorima Haraz, imao je veliku brzinu. Materijal koji je ubačen preko bušotine f 101 mm bio je za te brzine neodgovarajuće granulacije i sastava. Na prijedlog izvođača radova ubačene su i trake plastične spužve dužine 250-300 mm u ukupnoj težini od 387 kg (1.07.1987.). Razina podzemne vode jako se izdigla skoro do ušća bušotine. Nadzor nije prihvatio prijedlog da se ubaci i preostali dio do 1000 kg, te donosi odluku da se radovi s ubacivanjem spužve obustave. Par dana nakon toga nestala je visoka

razina, razina vode se spustila za cca 74 m, odnosno na početnu razinu vode u bušotini. Do posjete u ožujku 1989. u bušotinu je ubačeno oko 6000 tona suhe smjese, ali uz sve načinjene napore prethodni efekat visoke razine u bušotini nije postignut. Očigledno je da se odluka o prekidu pokazala pogrešnom.

Cilj ovog prikaza je bio da ukaže na jedan neuobičajen pokus vodom u kaverni velikih dimenzija, ali bi ipak bio nepotpun ako ne bi istaknuo da je uočen i potvrđen ograničen pozitivan efekt izvedenih injekcijskih i sanacijskih radova. To su: prodori vode u galeriju R₁ preko otvorenih konsolidacijskih bušotina u dnu i tjemenu svodu, prodor vode preko injekcijsko-istražnih bušotina u neobloženu galeriju R₇, ponašanje pritiska na uzgonskim cijevima u temeljima brane, podizanje razine vode na nekim bušotinama, tako npr. na bušotini F₂ ona je viša za 27 m (17.06.1987.).

Kontrola protoka na izvorima Haraz i Lar Gorge doista je nepouzdana i opterećena je točnošću mjerenja, jer nisu formirani stabilni hidrološko-hidraulički profili koji su bili predloženi. Prigovor na pouzdanost ovih mjerenja profila navodno nisu prihvatile odgovarajuće službe. Nema dokaza da su protoci osjetno smanjeni, iako su uočene promjene na izvorima Lar Gorge i za izvore Haraz utvrđene statističke korelacijske veze protoka s razinama vode u akumulaciji (P. Stojić, I. Hromatko).

Jedan od pouzdanijih pokazatelja jest dostignuta razina u akumulaciji 1988. godine, koja je bila 2506.88 m n.m. i viša za 9.91 m od razine koja je dostignuta 1983. godine - 2496.97 m n.m., odnosno prije izvođenja sanacijskih i injekcijskih radova. Porast volumena vode bio je $V = 124 \times 10^6 \text{ m}^3$ ($390 \times 10^6 \text{ m}^3 - 226 \times 10^6 \text{ m}^3$). Jasno, prigovor i za takvu tvrdnju može se naći.

Na opasnost da se, zbog podizanja razine vode u akumulaciji, mogu otvoriti stari fosilni kanali i novi putevi gubitaka vode ukazano je odmah na početku izvođenja radova (P. Stojić, F. Fritz, B. Pavlin); kao da je to potvrđeno. Izgleda da su uvjeravanja o takvoj opasnosti krivo protumačena.

Iznenadujuće djeluje također činjenica utvrđena na sastanku Tehničkog komiteta u ožujku 1989. godine da pojedini njegovi članovi nisu upoznati s rezultatima ispitivanja Kaverne br. 2, a niti su znali da su ta ispitivanja provedena. Pojedini stručnjaci koji su te rezultate vidjeli nisu navodili izvore.

Teški i složeni problemi gubitaka vode iz akumulacija u kršu, naša i inozemna iskustva ukazuju, ne mogu se otkloniti dnevnim gradilišnim diskusijama i dogovaranjima. Oni spadaju u vrlo složene inženjerske probleme koje po pravilu trebaju analizirati i rješavati timovi specijalista, a ne izvještaji pojedinaca bez obzira koliko je njihov stručni autoritet visok. Kod rješavanja tog veoma kompleksnog problema često presudan utjecaj imaju ograničena sredstva, vremenski čimbenik, nepovjerenje, prisutno nestrpljenje i sumnja u uspjeh.

Literatura

Cavern found under Iran's Lar dam, World Water, July 1985.

Cavern find clue to Lar leak mystery, World Construction, July 1985.

Cavern no 2, water gravity and water pressure tests, (dokumentacija Geotehnike i LCB - Teheran), September 1985.

Stojić P., Fritz F., Pavlin G., Hromatko I., Jukica J.: Saopštenja XIII Kongresa JDVB, 1986.

Lar dam salvage plan abandoned, Construction today, May 1990.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Vjekoslav Britvić, Rajko Perica,
Branko Krištofek:

R 4-07

Utjecaj karstifikacije na mogućnost bočne i dubinske komunikacije voda jadranskog priobalja

SAŽETAK: Članak obrađuje podatke o uzorcima vode dobivene istraživačkim bušenjem na otocima i u priobalju Jadranskog mora.

Prema sastavu vode utvrđen je veliki prostorni domašaj kavernožno-pukotinskog sustava, kao i vrlo duboka komunikacija površinskih voda.

Praćenjem temperaturnih promjena tijekom mjerenja u bušotinama dokazana je mogućnost izmjene temperature između bušotinskog fluida i slojnog fluida, preko velike površine, a to uzrokuje brzo izjednačavanje slojne temperature s temperaturom u bušotini (u Panonu je situacija sasvim drugačija), što je još jedan dokaz široke komunikacije vode i, posredno, velike opasnosti od zagađenja.

KLJUČNE RIJEČI: vodonosnik, karstifikacija, kavernožno-pukotinski sustavi

Pressurized Water Cavern Investigation

ABSTRACT: *The paper analyzes data on water samples obtained by drilling on the islands and the Adriatic Sea coast.*

According to the water composition a quite extensive space reach of cavernous-fissure system was determined, as well as a very deep communication of surface waters.

By monitoring of temperature changes during measurements in the wild-cat wells it was proven that there may be a possibility of temperature exchange between the borehole fluid and produced water over a large area, which leads to fast balancing of bed temperature with the borehole temperature (the Pannonian situation is completely different). This is an additional proof of extensive water communication and indirectly of large pollution risk.

KEY WORDS: *aquifer, karstification, cavernous-fissure systems*

Vjekoslav Britvić, dipl. inž. geol., INA-Naftaplin, Zagreb
Rajko Perica, dipl. inž. geol., INA-Naftaplin, Zagreb
Branko Krištofek, dipl. inž. geol., INA-Naftaplin, Zagreb

Istražnim bušenjem INA - Naftaplina u Dinaridima i u Jadranu obuhvaćeno je područje od istarske platforme na sjeverozapadu do dubrovačkog akvatorija na jugoistoku te do granice s Italijom prema jugozapadu. Svrha ovoga rada bila je utvrditi, na temelju bušotinskih pokazatelja i kemijskih analiza voda, mogućnosti dubinske komunikacije kao i daljinu komunikacije površinske vode u području vanjskih Dinarida i otoka u priobalju Jadranskoga mora. Radom su obuhvaćene bušotine: Ravni kotari 1,2,3,4 ; Krk 1; Premuda 1; Olib 1 i Dugi otok 1.

Praćenjem temperaturnih promjena tijekom elektrokarotažnih mjerenja u dinaridskim i jadranskim bušotinama primijećena je pojava brzog izjednačavanja temperature bušotinskog fluida s temperaturom slojnoga fluida za razliku od bušotina bušenih u panonskom dijelu Hrvatske gdje je za izjednačavanje temperatura potrebno znatno duže vrijeme.

Temperaturno izjednačavanje kao i mogućnost (vertikalna i horizontalna) komunikacije pod utjecajem su izraženog pukotinsko-kavernoznog sistema u karstificiranim karbonatnim naslagama.

Geološka podloga

U doba mezozoika, preciznije, tijekom srednjega do gornjega trijasa, na području vanjskih Dinarida i današnjega Jadranskog mora bio je uspostavljen režim karbonatne platforme s manje-više konituiranom sedimentacijom gotovo do kraja srednjeg eocena. Najmarkantniji prekidi u sedimentaciji javili su se u donjoj kredi i paleocenu.

Najstariji sedimenti karbonatne platforme su srednje i gornjotrijaske starosti.

Od norika do ranog tercijara na čitavome području održava se prilično jednolična sedimentacija plitkomorskih platformnih karbonata uz lokalnu varijabilnost u sedimentaciji od lagunarnih taložina do taložina tipičnih za dubokomorsku sedimentacijsku okolicu.

Dezintegracijom platforme i izdizanjem Dinarida formira se početkom tercijara nekoliko depresija, a nadolaskom transgresije u pliocenu, koja se nastavlja i tijekom kvartara, formira se područje Jadrana kao jedinstven bazen.

Pri sagledavanju geoloških događanja tijekom mezozoika (pa i poslije) na području Jadrana, svakako treba uzeti u obzir "lokalne različitosti i specifičnosti".

Primjerice, na krajnjem zapadnom rubu prostrane mezozojske karbonatne platforme formiran je tzv. Istarski plato, a na krajnjem je istoku, jugoistoku Jadrana evidentirano postojanje tzv. Južnojadranskog bazena s drugačijim razvojem naslaga.

Između te dvije "geotektonske" jedinice, na krajnjem zapadu i istoku područja, izmjenjuje se niz (paleo) izdignuća i depresija čije su granice, svojstva pa i samo nazivlje različito interpretirani, prema raznim autorima, ali se u generalnim crtama se poklapaju.

Stratigrafsko - litološki odnosi

Naslage permskih sedimenata taložene u fazi prije stvaranja sedimentnog bazena Dinarida slabo su poznate, ali se može pretpostaviti donos materijala sa zapada i istoka, do početka sedimentacije evapornitno- karbonatnih naslaga krajem perma kada počinje rana faza stvaranja platforme.

Ujednačeno spuštanje sedimentacijskog bazena počinje u ranome trijasu kada se formira stabilna platforma. Litološki, to su stijene karakteristične za plitkomorsku sedimentacijsku okolicu; anhidriti, gips, halit, dolomit, vapnenac i sitnozrni klastici.

Od srednjega trijasa nastavlja se taloženje karbonata do gornje jure kada, pod utjecajem ofiolitne zone unutrašnjih Dinarida, se događa eustatska promjena razine mora i kratkotrajne kopnene faze sa mjestimičnim taloženjem lagunarnih sedimenata (lemeš facijes).

U doba rane krede događa se ponovna transgresija mora i taloženje karbonatnih sedimenata koje se, s manjim prekidima, nastavlja do kraja krede.

Početak uzdizanja Dinarida, kao i dijelova karbonatne platforme, vezani su uz rani tercijar. Formiraju se unutrašnji fliški bazeni i u većem dijelu dinaridskog prostora dolazi do emerzije, a u području Jadrana se tijekom paleogena nastavlja taložiti karbonat. Od srednjeg eocena do danas nastavlja se taložiti molas kao posljedica postorogene faze i trošenja uzdignuta gorja.

Proces okršavanja karbonatnih sedimenata i utjecaj karstifikacije na stvaranje pukotinsko-kavernoznih sustava

Najveći utjecaj na okršavanje karbonatnih sedimenata imaju površinske vode (vadozne vode), kako u vrijeme regresivnih faza tijekom geološke prošlosti tako i danas. Karakteristika je vapnenačko-dolomitnih sedimenata dinaridsko-jadranskog područja povećana komunikacija voda u podzemlju, vezana uz prvotnu tektonsku razlomljenost, a i naknadno otapanje vapnenaca vodom što uzrokuje proširenje migracijskih puteva te stvaranje pukotinsko-kavernoznih sistema dalekoga i dubokoga zahvata.

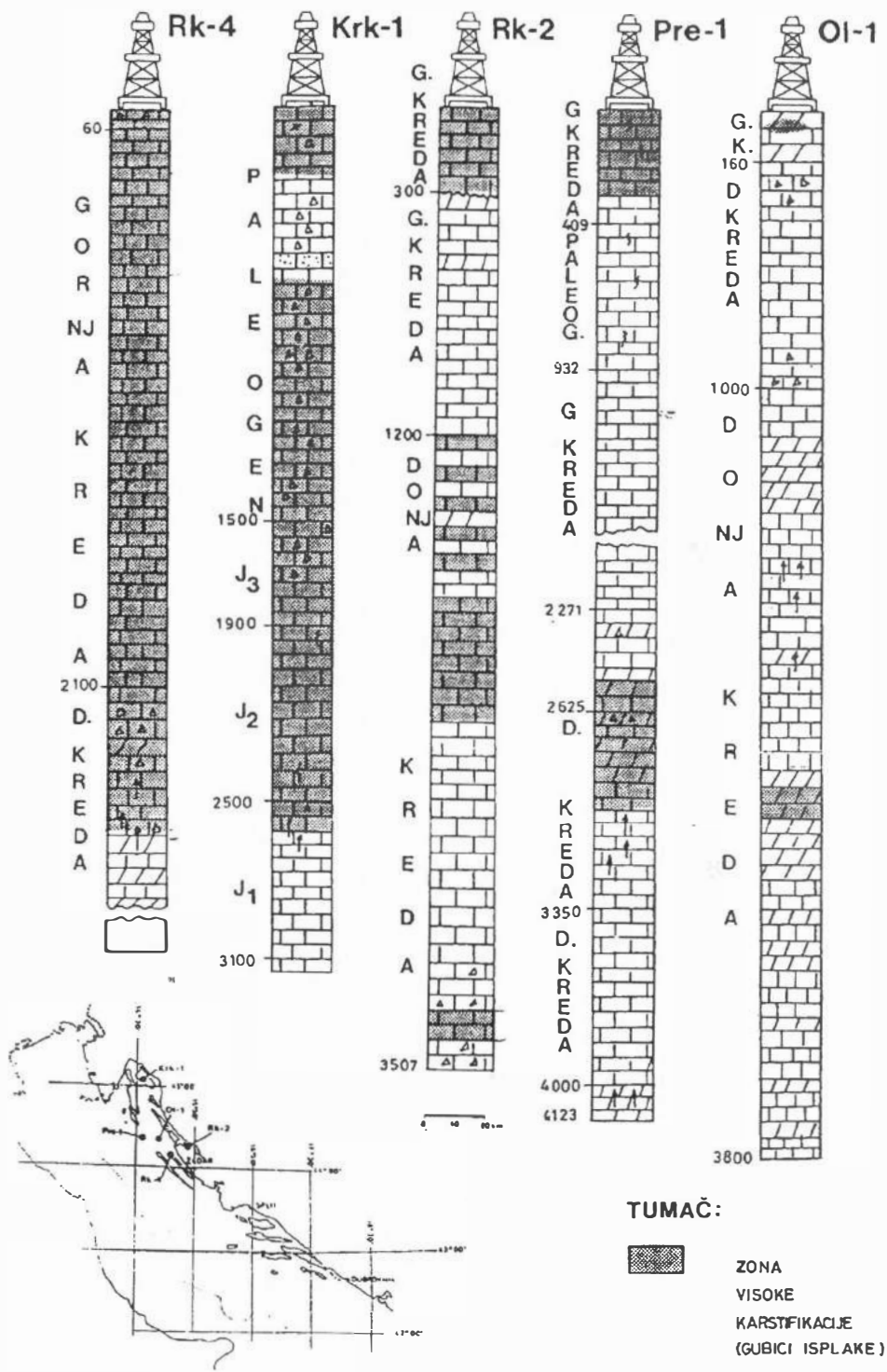
Kavernozni sustavi su, mjestimično, izrazito naglašeni što je vidljivo tijekom bušenja kada se napadaju jako raspucane i ekstremno propusne zone u kojima se u pravilu javljaju gubici bušotinskog fluida (isplake). Takve, naglašeno propusne zone, dokaz su visoke karstifikacije pojedinih intervala u karbonatnim stijenama kroz koje bušotina prolazi, a koji su idealni putevi za podzemnu komunikaciju vode (slika 1).

Temperaturni pokazatelji kavernozno-pukotinskih sustava koji omogućavaju komunikaciju voda u podzemlju

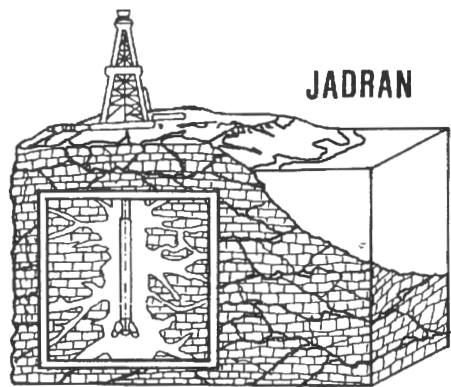
Tijekom mjerenja temperature na dnu bušotina, u Dinaridima i u Jadranu, koje se izvodi pri svakoj operaciji elektrokarotaže, te usporedbom dobivenih rezultata, primijećeno je neočekivano brzo izjednačavanje temperature sloja s temperaturom bušotinskog fluida.

Prije izvođenja navedenih mjerenja, ovisno o dubini, bušotina se jedno vrijeme kondicionira, tj. priprema za mjerenje u uvjetima stajanja bušotinskog fluida. Izvodi se višekratni krugotok isplake da bi se ona očistila od čestica stijene i mogućega plina u isplaci što uzrokuje pothlađivanje pribušotinske zone zbog učestalog dovodenja fluida površinske temperature.

Karotažna mjerenja se izvode u nekoliko faza s određenim vremenskim razmacima, što je baza za temperaturnu korekciju, tj. svođenje mjerene temperature na temperaturu sloja. S protjecanjem vremena temperatura mjerena u bušotini približava se asimptotski pravoj vrijednosti temperature u podzemlju.

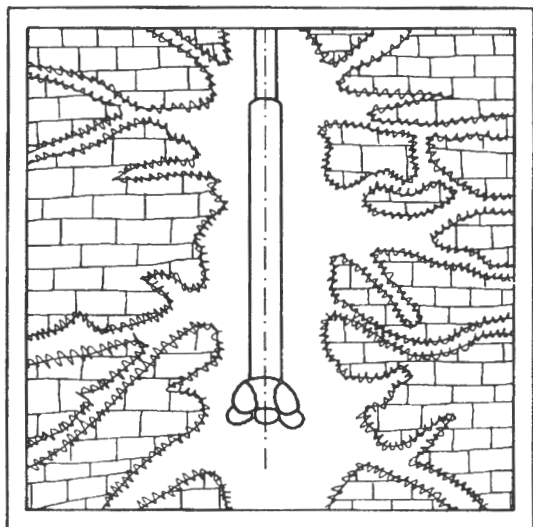


SLIKA 1: ZONE VISOKE KARSTIFIKACIJE

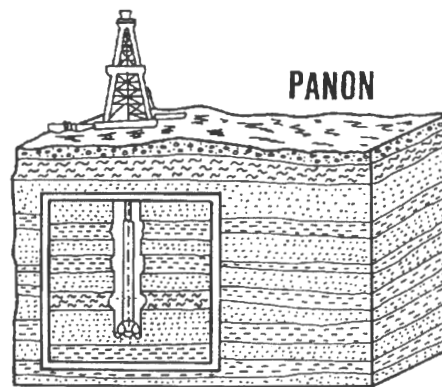


JADRAN

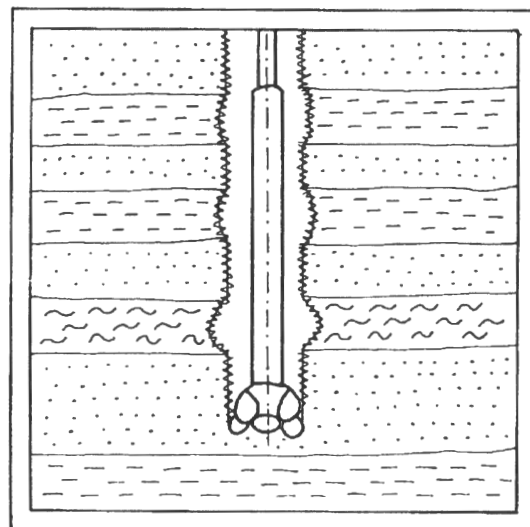
prema Librahimpašić-u



Slika 2a: IZMJENA TEMPARATURE U JADRANSKIM BUŠOTINAMA

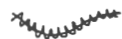


PANON



Slika 2b: IZMJENA TEMPARATURE U PANONSKIM BUŠOTINAMA

TUMAČ:



zona izmjene
temperature između
slojnog i bušačeg
fluida

BUŠOTINA	RK-3	RK-1	CI-1	RK-4	RK-2	OO-1
INTERVAL	1962.00	2478.65-2490	2700-2704	2324.7-2399.5	3434.88-3444	3163.7-3224.7
BR. DUBINA (H)	1962.00	2484.53	2702.00	2362.10	3439.15	3193.85
JEDINICA	G.Krede	D.Krede	D.Krede	D.Krede	D.Krede	G.Krede
TIP BTJEENE	Vapnenac	Vapnenac	Dol. i Mikrit	Vap. i Anhid.	Vapnenac	Vapnenac
NAČ. UZORKOV	Cirkulacija	DST	Remont	Eruptivno	DST	DST
pH	9.00	7.50	6.70	7.00	7.10	7.10
SAL g/NaCl	14.60	0.34	73.50	36.20	13.36	43.36
GUŠTOĆA kg/dl						
Na mg/l	6006.00	622.03	1093.15	9657.01	364.50	15113.30
K mg/l						
Mg mg/l	10.00	26.14	87.30	1523.41	517.10	634.40
Ca mg/l	280.00	367.74	134.00	1419.60	1739.40	2124.00
Cl mg/l	8875.00	207.80	1279.00	21684.00	8166.00	26341.00
HCO3 mg/l						
CO3 mg/l	757.50	181.45	8.05	80.60	288.88	106.00
SO4 mg/l	86.00	1517.77	27.40	273.84	538.42	3341.43
MINERAL mg/l	16013.50	2922.93	2628.90	34518.26	11614.39	47659.13
Na mg-ekv/l	261.16	27.05	47.54	419.98	15.85	657.28
K mg-ekv/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg mg-ekv/l	0.82	2.15	7.18	125.29	42.53	62.17
Ca mg-ekv/l	13.97	18.35	6.69	70.84	86.80	106.89
Cl mg-ekv/l	250.28	5.86	36.07	608.67	230.00	742.82
HCO3 mg-ekv/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3 mg-ekv/l						
SO4 mg-ekv/l	1.79	31.60	0.57	5.70	11.21	69.57
MINERAL mg-ekv	528.02	85.01	98.05	1230.47	386.39	1627.82
Na %-ekv/l	49.46	31.82	48.49	34.13	4.10	40.38
K %-ekv/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg %-ekv/l	0.16	2.53	7.32	10.18	11.01	3.21
Ca %-ekv/l	2.65	21.59	6.82	5.76	22.46	6.61
Cl %-ekv/l	47.40	6.89	36.79	49.47	69.53	45.63
HCO3 %-ekv/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3 %-ekv/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4 %-ekv/l	0.34	37.17	0.58	0.46	2.90	4.27

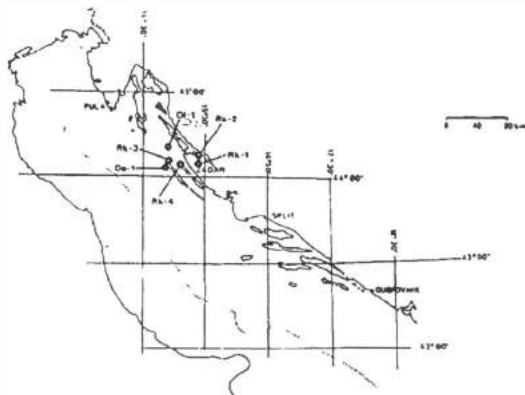


TABELA 1: KEMIJSKI SASTAV VODE [%ekv]

Za razliku od bušotina bušenih u panonskome dijelu Hrvatske, gdje se niti nakon višekratnog izvođenja EK mjerenja, tj. dužeg vremena (npr. 30h), ne izjednačava temperatura, u bušotinama bušenim u Dinaridima i u Jadranu temperatura se izjednačava vrlo brzo, te već druga EK operacija mjeri stabilnu temperaturu, tj. sva sljedeća mjerenja se podudaraju s drugim mjerenjem temperature.

Primjećena anomalija je dokaz velikog utjecaja kavernoznog sustava u pribušotinskoj zoni koji uzrokuje izmjenu temperature između slojnog i bušotinskog fluida puno većom površinom (slika 2a), nego što je to slučaj u bušotinama panonskoga područja (slika 2b), točnije, dokazuje izrazitu komunikaciju podzemnog fluida.

Veza površinske vode s karbonatnim slojevima u dubini, prema kemijskome sastavu

Kemijski sastav voda u bušotinama, navedenim u ovom radu, kao i u ostalim bušotinama bušenim u Dinaridima i u Jadranu, upućuje na izraženu komunikaciju površinskih, slatkih voda i morske vode s vodama podzemlja, do velikih dubina, pomoću pukotinsko-kavernoznih sustava (tabela 1). Dio analiziranih voda su hidrokarbonatnog tipa (prema Sulin-u) s izrazito smanjenim udjelom magnezija (0 do 100 % ekv) što ukazuje na povezanost sa površinskom vodom (Schroeckenfuchs). Dio voda su klorkalcijskog tipa sa povišenim udjelom magnezijske komponente (od cca. 500 do 1500 % ekv) što pak upućuje na duboku komunikaciju i miješanje morske sa slojnom vodom.

Ugroženost vodonosnika zagađenjem

Iz prijašnjih navoda vidljiva je velika ugroženost vodonosnika zagađenjem s površine, kako prostorno tako i dubinski. Zbog mogućnosti gotovo bi se moglo reći relativno "neograničene" komunikacije vode u podzemlju, svako lokalno zagađenje može izazvati katastrofu regionalnih razmjera ako tangira lice prvoga vodonosnika. Budući da su pukotinsko-kavernojni sustavi međusobno povezani ne može se sa sigurnošću odrediti moguće rasprostiranje zagađenja, kao ni smjer, a niti krajnja granica, tj. daljina zahvata.

Dodatna otežavajuća okolnost je slaba mogućnost filtriranja vode u krškim terenima. Dok je u klastitičnim naslagama (izmjena pješčenjaka i lapora), zbog smanjene propusnosti kada se stijene ponašaju kao molekularna sita, dovoljan kratak put vode kroz podzemlje da bi se ona profiltrirala, u pukotinsko-kavernožnim sustavima krša, s visokom propusnošću, efekt filtracije potpuno izostaje ili je, u najboljem slučaju, bitno smanjen.

Zaključak

U području vanjskih Dinarida i Jadrana, koje je obuhvaćeno ovim radom, geološke su prilike tijekom prošlosti uvjetovale taloženje debele karbonatne serije koja je, djelovanjem vode, podložna karstifikaciji.

Kao posljedica nastali su izraženi kavernožno-pukotinski sustavi koji omogućavaju komunikaciju vode.

Podaci dobiveni tijekom bušenja dokazuju komunikaciju vode u podzemlju (temperaturno izjednačavanje) kao i povezanost slojne s površinskom vodom do velikih dubina (kemijske analize vode).

U slučaju zagađenja mogućnost daleke i duboke komunikacije vode u podzemlju opasno ugrožava vodonosnik, a slaba mogućnost filtracije u krškim terenima dodatno otežava problem.

Literatura

1. V.A. Sulin : Uslovlja i obrazovanja, osnovi kalasifikacii i sostav prirodni vod; A N SSSR, 1948, Moskva.
2. G. Schroeckenfuchs : Hidrogeologie, Geochemie und Hydrodynamik der Formationswasser des Raumes Matzen - Schonkirchen Tief; Erdoel-Erdgas-Zeitschrift 91, 1975.
3. Fond stručne dokumentacije INA-Naftaplina



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Damir Borović, Alan Kereković, Vinko Jović

R 4-08

Matematičko modeliranje utjecaja akumulacije u aluvijalnoj dolini na promjenu razine podzemne vode u zaobalju

SAŽETAK: *U radu je prikazan osvrt na jedan, vrlo bitan utjecaj akumulacije na okoliš, tj. prikazuje se metodologija utvrđivanja utjecaja akumulacije hidroelektrane u aluvijalnoj dolini na promjenu razine podzemne vode u zaobalju, pomoću matematičkog modeliranja.*

U uvodnom dijelu naglašava se potreba da se poznaje buduća razina podzemne vode u zaobalju nakon izgradnje akumulacije hidroelektrane u širokoj aluvijalnoj dolini.

Za kvalitetnu prognozu budućega stanja potrebno je raspolagati određenim podlogama, a najbitnije je poznavati razvoj sedimenata, kao i njihovih hidrogeoloških parametara. U radu je prikazan osvrt na sve potrebne podloge, s težištem na metodologiji određivanja hidrogeoloških parametara anizotropne sredine matematičkim modelom za simulaciju strujanja podzemne vode prema bunaru.

Zatim se opisuje metodologija izrade "detaljnih modela", kojima se u globalni matematički model za simulaciju strujanja podzemne vode uvode vodotoci i crpilišta u zaobalju, te akumulacija, a potom se opisuje princip globalnog matematičkog modeliranja, tj. opisuje se priprema modela, kalibriranje prirodnog stanja te modeliranje izgrađenog stanja.

Dalje, ilustrira se opisana metodologija na primjeru prognoze utjecaja buduće akumulacije HE Novo virje na razinu podzemne vode u njezinom lijevom zaobalju.

U završnom dijelu naglašava se potreba takvog pristupa u određivanju utjecaja akumulacije hidroelektrane u aluvijalnoj dolini na razinu podzemne vode u zaobalju, te u projektiranju odgovarajućih mjera zaštite.

KLJUČNE RIJEČI: *utjecaj akumulacije, razina podzemne vode, hidrogeološki parametri, detaljni model, globalni matematički model za simulaciju strujanja podzemne vode.*

Mathematical Modelling Of An Alluvial Plain Reservoir Impact On Groundwater Table Variation In A River Valley

ABSTRACT: *The paper discusses a very important environmental impact of a reservoir, namely describes a mathematical modelling methodology for determination of the impact the alluvial plane hydroelectric power plant reservoir has on groundwater table variations in a valley.*

Damir Borović, dipl. ing. građ., Elektroprojekt, Zagreb
Alan Kereković, dipl. ing. geol., Elektroprojekt, Zagreb
Prof. dr. Vinko Jović, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet, Split

The introduction stresses the need for information about the groundwater table in the river valley in the future, namely after construction of the alluvial plain hydroelectric power plant reservoir.

A quality forecast of the future situation requests certain data, the most important being those on sediment development mechanisms and their hydrogeological parameters. The paper discusses all necessary documentation and data, and focuses on methodology for determining hydrogeological parameters of anisotropic medium which uses a mathematical model for simulation of groundwater flow towards a well.

The methodology of "detailed models" development is also described. Here, the global mathematical models for the groundwater flow simulation are completed with streams and well fields in the river valley, and the reservoir. The principle of global mathematical modelling is described, i.e. the model development, calibration to natural status and the status after the project completion. The methodology is illustrated on an example of the forecast of impact the future Novo Virje Hydroelectric Power Plant reservoir shall have on the groundwater table in the river valley left side.

In conclusion, the paper underlines importance of such approach in determining the reservoir impact on the groundwater table in the valley and in preparation of design documentation for adequate protective measures.

KEY WORDS: *reservoir impact, groundwater table, hydrogeological parameters, detailed model, global mathematical model simulating groundwater flow*

1. Uvod

Svaka hidroelektrana u aluvijalnoj dolini zamišljena je kao kompleksno višenamjensko postrojenje. Primarna zadaća hidroelektrane je proizvodnja električne energije, ali ne manje značajne zadaće su i zaštita okolnoga područja od poplava, trajna regulacija korita rijeke na potezu izgradnje, poboljšanje odvodnje, odnosno navodnjavanje poljoprivrednih površina u zaobalju, te regulacija razine podzemnih voda u njezinoj okolini. Dalje, od izgradnje kompleksnog postrojenja, kao što je hidroelektrana, očekuju se i druge koristi na tom području kao uređenje prometnica, sportsko - rekreacijska ponuda, unapređenje ribarstva i lovstva.

Dakle, neupitno je da se izgradnjom akumulacije hidroelektrane u aluvijalnoj dolini mijenja razina podzemne vode u širem zaobalju akumulacije, odnosno uravnotežuju se ekstremi prirodnih vodostaja.

Zbog velikog utjecaja podzemne vode na kvalitetu života u širem području akumulacije hidroelektrane u aluvijalnoj dolini, (vodoopskrba, poljoprivrede, šumarstvo, ukupna prirodna ravnoteža), potrebno je regulirati režim podzemnih voda nakon njezine izgradnje. U tu svrhu razrađena je metodologija, na osnovi matematičkog modeliranja, kojom se prognozira buduće stanje razine podzemne vode u široj okolini akumulacije hidroelektrane u aluvijalnoj dolini. Na osnovi takve prognoze, te zahtjeva korisnika toga prostora, moguće je projektirati mjere zaštite zaobalja od utjecaja akumulacije hidroelektrane na promjenu razine podzemne vode u zaobalju.

Metodologija određivanja utjecaja akumulacije na razinu podzemne vode u zaobalju, zasniva se na programskom paketu FILTRA. Programski paket FILTRA, sastoji se od sljedećih programa:

FILTRA_N - program za simulaciju strujanja podzemne vode u realnom, složenom vodonosnom sloju, uz mogućnost preciznog rješavanja skupine zdenaca, modeliranja akumulacije te vodotoka u zaobalju, namijenjen je, između ostaloga, za određivanje utjecaja akumulacije na razinu podzemne vode u zaobalju;

FILTRA_W - program koji je namjenjen za nestacionarnu simulaciju crpljenja iz bunara koji se nalazi u nehomogenim anizotropnim slojevima, te je njime moguće odrediti filtracijske karakteristike slojeva na temelju podataka o sniženjima tijekom pokusnog crpljenja zdenca, i odrediti piezometarski potencijal u okolici nepotpunih zdenaca u realnim uvjetima;

FILTRA_S - program razrađen za potrebe rješavanja dvo- i trodimenzionalnih problema stacionarne i nestacionarne filtracije vode kroz anizotropne i nehomogene porozne medije. Programom FILTRA_S modeliraju se dijelovi vodonosnog sloja gdje nije zadovoljena Dupuitova pretpostavka o horizontalnosti strujanja zbog kontakta vodonosnoga sloja i površinskih vodotoka iz kojih se prihranjuje vodonosnik, te zbog različitih umjetnih zahvata kao što su akumulacije hidroelektrana. Također, postavom prostornog modela moguće je modelirati singularne objekte kao što su točkasti izvori ili ponori, određenog polumjera i izdašnosti (odteretni bunari duž trase obodnih kanala akumulacije).

Cjelokupni software se osniva na metodi konačnih elemenata, gdje su primijenjena najsuvremenija numerička rješenja.

Tako pripremljeni programski paket FILTRA omogućuje prognozu budućeg stanja razine podzemne vode u zaobalju akumulacije hidroelektrane u aluvijalnoj dolini, te projektiranje mjera zaštite zaobalja od utjecaja procjeđivanja iz akumulacije.

Takav postupak, odnosno opisana metodologija, usvojena je kod projektiranja hidroelektrane Novo Virje na rijeci Dravi, te će se dobiveni rezultati potkrijepiti ilustracijama.

2. Podloge

Podloge, potrebne za izradu matematičkog modela za simulaciju strujanja podzemne vode, dijele se na vremenski nepromijenjene podloge; topološke (kote terena, pružanje vodotoka, položaj jezera i šljunčara, položaj naselja, pružanje budućeg objekta), geološke (debljina površinskoga pokrivača, debljina i raspored vodonosnih slojeva te slabije propusnih proslojaka), te hidrogeološke (filtracijske karakteristike vodonosnih slojeva), te na vremenski promjenjive podloge; hidrološke (vodostaji i protoke na glavnom vodotoku i pritokama, razine podzemne vode mjerene na piezometrima), hidrogeološke (dotok i otjecanje po rubovima modela), te meteorološke (oborine i evapotranspiracija).

Za formiranje matematičkog modela potrebno je definirati prostornu i vremensku domenu modela, te područje unutar obje domene popuniti podacima iz podloga. Prostorni obuhvat modela određen je rasprostiranjem vodonosnog horizonta, odnosno maksimalnim dosegom utjecaja akumulacije na podzemne vode. Za vremensku domenu modela odabire se razdoblje u kojem raspoložemo najvećom količinu podataka o mjerenjima razine podzemne vode, a kao mjerodavno razdoblje za kalibraciju modela odabire se reprezentativno razdoblje iz vremenske domene modela (obično jedna ili dvije godine). Vremenski intervali, u kojima se zadaju promjene rubnih uvjeta, na koje se dijeli mjerodavno razdoblje kalibracije, odabiru se tako da se u jednom intervalu prirodne oscilacije na rubovima modela prigušuju na srazmjerno maloj udaljenosti. Obično se kao mjerodavni vremenski intervali odabiru tjedni ili dekade.

Od navedenih podloga, najdelikatnije je dovoljno kvalitetno odrediti filtracijske karakteristike vodonosnoga sloja. U tu svrhu razvijen je matematički model

FILTRA_W, te ćemo se nešto detaljnije osvrnuti na osnovne značajke tog matematičkog modela.

Program FILTRAW je matematički model nestacionarnog toka u anizotropnoj sredini, prilagođen za nestacionarnu simulaciju crpljenja iz bunara koji se nalazi u nehomogenim anizotropnim slojevima, a konkretno je namijenjen za određivanje filtracijskih karakteristika vodonosnog sloja, iz podataka o sniženju razine podzemne vode za vrijeme pokusnog crpljenja zdenca, te za određivanje piezometarskog potencijala u okolici nepotpunih zdenaca u realnim uvjetima. Pri tome se podrazumjeva da su vodonosni slojevi horizontalni, a strujanje podzemne vode osnosimetrično. Tipični su primjeri, koje rješava program FILTRA_W, homogeni anizotropni sloj, nehomogeni anizotropni sloj, vodonosni sloj s krovinjskim i podinskim slabije propusnim proslojcima te homogeni, odnosno, nehomogeni sloj sa slobodnim vodnim licem. Program FiltraW uzima u obzir podatke o količini crpljenja i nestacionarne rubne uvjete, dakle prisutne globalne promjene režima podzemnih voda.

Metoda modeliranja zasniva se na numeričkom rješenju jednadžbe nestacionarnog procjeđivanja u nehomogenoj anizotropnoj zasićenoj sredini.

Ovim matematičkim modelom moguće je odrediti, osim horizontalnog, i vertikalni koeficijent filtracije vodonosnoga horizonta, kojeg je moguće odrediti samo pokusnim crpljenjem na nepotpunom bunaru. Naime, tijekom crpljenja u okolici takvoga bunara javljaju se, osim dominantnog horizontalnog, i uspravni tok podzemne vode.

Također, moguće je odrediti koeficijente aktivne poroznosti vodonosnih slojeva koji se nalaze pod tlakom, odnosno koeficijent aktivne poroznost za slučaj bunara sa slobodnim vodnim licem.

Pitanje nehomogenosti sloja u vertikalnom smjeru može se provjeriti ugradnjom više piezometara na različitim dubinama.

Princip određivanja filtracijskih karakteristika vodonosnog sloja je uspoređivanje izračunatih sniženja u čvorovima modela, gdje se modeliraju piezometri, s izmjerenim podacima sniženja na piezometrima za vrijeme pokusnog crpljenja. Postupnim približavanjem izračunatih i izmjerenih vrijednosti mogu se odrediti, približno, stvarne vrijednosti filtracijskih karakteristika vodonosnoga sloja.

U vezi sa sagledavanjem filtracijskih karakteristika vodonosnoga kompleksa treba naglasiti da su dobiveni podaci o filtracijskim karakteristikama vodonosnoga sloja lokalnoga karaktera, tj. vezani su uz lokaciju pokusnog crpljenja. Iz tih istraživanja proizlaze početne vrijednosti filtracijskih karakteristika kao osnovnih ulaznih veličina za kalibraciju, dok globalni koeficijenti proizlaze iz procesa kalibracije globalnog matematičkog modela.

3. Modeliranje dijelova vodonosnog sloja gdje nije zadovoljena Dupuitova pretpostavka - detaljni modeli

Pomoću opisanoga programa FILTRA_W moguće je odrediti piezometarske potencijale u okolici zdenca u realnim uvjetima. U globalnom matematičkom modelu za simulaciju strujanja podzemne vode, može se na pravilan način, detaljnim modelom, modelirati bunar nekog crpilišta kada on nije potpunog tipa, tj. kada ne penetrira kroz cijelu debljinu sloja. Okolica nepotpunog bunara, za vrijeme crpljenja, moguće je podijeliti na područje neposredno uz bunar, gdje ne vrijedi Dupuitova pretpostavka, te područje dalje od bunara gdje su ekvipotencijale izravnate, gdje je strujanje horizontalno, odnosno ispunjena je Dupuitova pretpostavka. U području koje je dalje od

bunara, dobivena sniženja odgovaraju kao da je zdenac potpun, a koeficijenti filtracije i aktivne poroznosti jednaki su onima koji vrijede za globalni model. Međutim, kod nepotpunog zdenca, postoji područje uz bunar gdje se neposredno osjeća utjecaj nepotpunosti zdenaca. U tome području krivulje sniženja za svaku točku imaju pomak u odnosu na potpuni zdenac, što znači da svaka točka u tom području ima različitu piezoprovodnost. Promijenjena piezoprovodnost, za točke unutar toga područja, rezultat je prostornosti strujanja i mjesta položaja promatrane točke. Koeficijent efektivne poroznosti invarijantan je u strujanju, te je promijena piezoprovodnosti uzrokovana promjenom kinematičke slike, što se izražava promjenom transmisibilnosti u strujanju. Na taj način, moguće je, u globalnom matematičkom modelu za simulaciju strujanja podzemne vode, na korektan način, modelirati crpljenje iz nepotpunih zdenaca, zadavanjem vrijednosti transmisibiliteta u nekoj određenoj točki u neposrednoj okolici takvoga bunara.

Takoder, mjesta, gdje nije zadovoljena Dupuitova pretpostavka o horizontalnosti strujanja, mjesta su kontakta vodonosnog sloja i površinskog vodotoka te umjetni zahvati kao što su akumulacije hidroelektrane. Tamo gdje vodotok duboko zasjeca vodonosni sloj, uz prisutnost veće anizotropije vodonosnog sloja, te na mjestima izgrađenog objekta na vodotoku, gdje je prisutno značajno vertikalno strujanje, rješenje se dobije sprežući dva modela (modela u vertikalnom presjeku, tj. detaljnog modela i globalnog modela).

FILTRA_S je program namjenjen za modeliranje problema nestacionarnih i stacionarnih strujanja podzemne vode u zasićenim sredinama koji se, u prvom redu, upotrebljava za rješavanje problem ravninskog i prostornog strujanja u vertikalnim nehomogenim i anizotropnim poroznim sredinama. Namijenjen je za slučajeve kada se nehomogenost pojavljuje u izrazito naglašenoj uslojenoj sredini, gdje su slojevi strogo odijeljeni, a svaki za sebe je homogen, ali izrazito anizotropan. Detaljnim modelom, izgrađenim na osnovi programa FILTRA_S, modeliraju se efekti prostornosti strujanja. Obično je dovoljno upotrijebiti ravninski model u vertikalnom presjeku, no prema potrebi upotrebljava se i prostorni model (npr. za određivanje utjecaja odteretnih bunara). Globalnom modelu, kao rubni uvjet na spoju s detaljnim modelom, treba dati odgovarajući protok koji je funkcija vodostaja na spoju dvaju modela. Ta funkcija određuje se numerički iz detaljnog modela tako da se pretpostave različiti potencijali na spoju modela, te se izračuna za svaki od njih protok u tom presjeku. Dobivena funkcija je u biti nelinearnog karaktera, ali se u praktičnim slučajevima funkcija toka može linearizirati. Tako dobivena funkcija postavlja se kao rubni uvjet u globalnom modelu za simulaciju strujanja podzemne vode.

4. Kalibracija prirodnog stanja

Na osnovi navedenih podloga izgradi se model za simulaciju strujanja podzemne vode u akviferu (FILTRA_N), te nakon obrade podataka vodostaja na piezometrima za praćenje i kontrolu razine podzemne vode, pristupa se postupku kalibracije modela.

U takvom slučaju radi se o karakterističnom problemu ravninskog strujanja kod kojega je debljina srazmjerno mala s obzirom na rasprostiranje sloja te se u tom slučaju komponente vektora brzine procjeđivanja u uspravnom smjeru mogu zanemariti. Ta pretpostavka je ispunjena svugdje osim lokalno u području kontakata površinskih vodotoka s podzemnim vodama, te u okolici nepotpunih zdenaca (način modeliranja takvih mjesta objašnjen je u prethodnom poglavlju). Dupuitova pretpostavka omogućava da se vodonosni sloj u okomitom smjeru promatra kao homogen, sa osrednjenim filtracijskim karakteristikama. Prvenstveno zbog ispunjenosti te pret-

postavke, za globalni matematički model zaobalja, upotrebljava se mogućnost programskoga paketa FILTRA_N u rješavanju nestacionarnih dvodimenzionalnih (ravninskih) problema procjeđivanja.

Matematički model podzemnog strujanja dobro će oponašati prirodni proces ako se poznaje koeficijent vodopropusnosti raspodijeljen po području, debljina i rasprostiranje vodonosnog, krovinskog i podinskog sloja, koeficijent aktivne poroznosti, klimatološka funkcija, rubni uvjeti (kontakt podzemne vode s površinskim vodotocima, područja bez dotoka iz drugih hidrogeoloških struktura, područja s dotokom iz drugih hidrogeoloških struktura) i početni uvjeti.

Od svih parametara, prethodno navedenih, obično su nedovoljno istraženi koeficijenti filtracije, koeficijent aktivne poroznosti te raspodjela dotoka po rubovima modela. Ostali parametri spadaju u geometrijske veličine ili rubne uvjete, obično dobro poznate.

Dakle, problem se svodi na to da se odredi veličina i distribucija koeficijenata filtracije i koeficijenta aktivne poroznosti, te raspodjela dotoka po rubovima aluvija, koja će dati minimalno odstupanje piezometarskih stanja modela u odnosu na prirodu.

Na osnovi podloga o geometriji vodonosnog sloja odrede se geometrijske granice modeliranog područja, te se izvrši diskretizacija područja obuhvata modela konačnim elementima. Mreža konačnih elemenata definira se svojim elementima i pripadajućim čvorovima. Nakon formiranja mreže konačnih elemenata, svakom elementu, odnosno čvoru, pridruženi su podaci koji određuju kotu dna krovine, kotu podine vodonosnog sloja te debljinu površinskog sloja. Osim navedenih geometrijskih karakteristika, svakom čvoru modela pridružuju se podaci koji određuju hidrogeološka svojstva vodonosnika. S obzirom na prisutnu nehomogenost vodonosnoga sloja, hidrogeološki parametri, koji su određeni interpretacijom pokusnih crpljenja, odgovaraju samo najužim lokacijama bunarskih polja, a duž modela variraju, te se u procesu kalibracije mijenjaju, dok se ne dobije zadovoljavajuća razina podzemne vode na modelu. Rubni uvjeti za globalni model strujanja podzemne vode proizlaze iz podloga. Moguće je primijeniti Dirichletov tip rubnog uvjeta - potencijal koji odgovara vodnim licima u vodotoku za odabrani vremenski inkrement kalibriranog perioda, te Neumannov tip rubnog uvjeta, dotok po rubu modela. Utjecaj oborina i evapotranspiracije uzima se u obzir neposredno preko dotoka raspoređenog po površini cijelog područja modela. Crpilišta na području obuhvata modela, te utjecaj vodotoka uzima se u obzir već prije opisanim detaljnim modelima. Kao početni uvjet, u načelu se uzima proračunato stacionarno stanje za prvi vremenski inkrement kalibriranog perioda.

Kao rezultat kalibracije modela dobiju se hidrogeološke karakteristike vodonosnoga sloja, te se usvoje rubni uvjeti, dotoci po konturama modela, na kojima bočni dotok definiraju rubni uvjeti, a sve za dobivenu zadovoljavajuću razinu podzemne vode na kontrolnim piezometrima u modelu.

Iskalibrirani matematički model je kvalitetna podloga u koju se uvodi akumulacija hidroelektrane pomoću detaljnog modela, koji rješava problem ravninskog i eventualno prostornog strujanja u vertikalnim nehomogenim i anizotropnim poroznim sredinama, te se na taj način u globalnom modelu, kao rubni uvjet na spoju s detaljnim modelom daje odgovarajući protok, koji je funkcija vodostaja na spoju dvaju modela (u prethodnom poglavlju opisano). Na isti način moguće je u izgrađenom stanju, ocijeniti utjecaj na nivo podzemne vode, očišćenih korita vodotoka u zaobalju.

5. Osvrt na modeliranje utjecaja akumulacije HE Novo Virje na režim podzemne vode u zaobalju

HE Novo Virje je zamišljena kao kompleksno višenamjensko pribransko postrojenje. Ostvariti će se izgradnjom akumulacije i odvodnim kanalom iza strojarnice. Akumulacija i odvodni kanal prostiru se na relativno dubokim vodopropusnim naslagama tako da se očekuje bitan utjecaj navedenih objekata hidroelektrane na režim podzemnih voda u zaobalju.

Jedna od osnovnih zadaća, koje treba riješiti pri projektiranju HE Hovo Virje, regulacija je režima podzemnih voda u smislu njegovog usklađivanja s potrebama korisnika toga prostora. Pravilnim predviđanjem utjecaja akumulacije HE Novo Virje, te projektiranim mjerama zaštite, na režim podzemnih voda, moguće je predvidjeti takvu zaštitu zaobalja da se razine podzemnih voda ustale između prirodnih ekstrema vodostaja. U tu svrhu napravljen je matematički model za simulaciju strujanja podzemnih voda u zaobalju HE Novo Virje temelju na metodologije koja je opisana u ovome radu.

Model je izrađen na temelju hidroloških, hidrogeoloških i meteoroloških podataka, prikupljenih za 1990. i 1991. godinu.

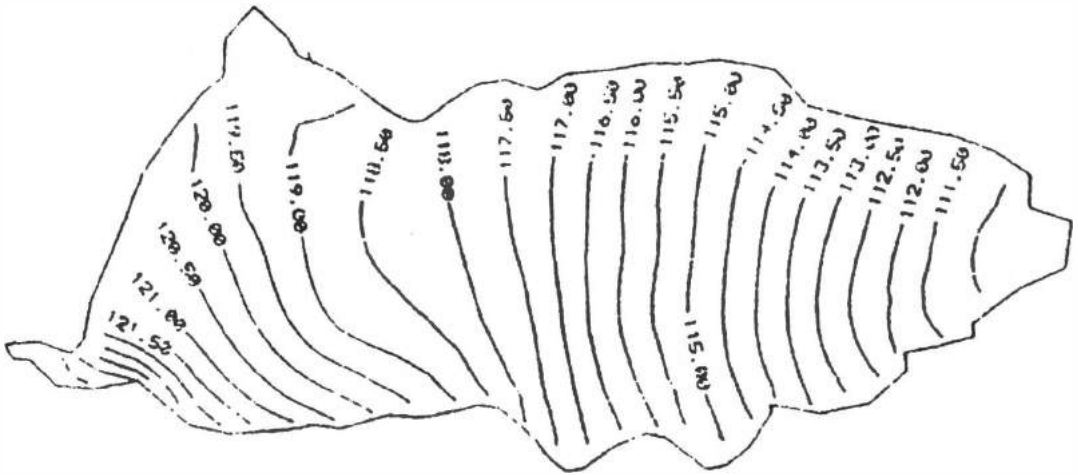
Prikazani su rezultati simulacije prirodnog režima podzemne vode u lijevom zaobalju akumulacije buduće hidroelektrane HE Novo Virje (razina podzemne vode tijekom visokih vodostaja u zaobalju u promatranom periodu), slika 1. Također, daje se prikaz crta istih razina podzemne vode nakon izgradnje akumulacije HE Novo Virje, neposredno nakon punjenja akumulacije (nekolmirano dno korita rijeke Drave), slika 2., uz djelovanje osnovne zaštite zaobalja (obodni kanali) Slika 3. prikazuje razinu podzemne vode u zaobalju uz djelovanje odteretnih bunara za regulaciju dotoka u zaobalje, a slika 4. nakon modeliranja površinske odvodnje na površinama lijevog zaobalja, gdje je dodatno potrebno sniziti razinu podzemne vode.

6. Zaključak

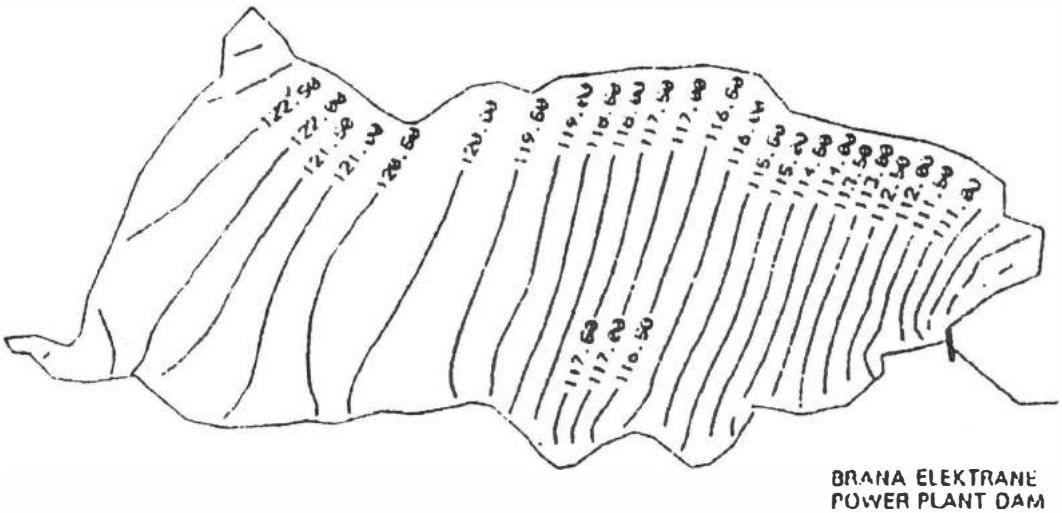
Uzimajući u obzir sve prikazano, može se zaključiti da je neupitna upotreba tako razrađene metodologije pri utvrđivanju kvalitetnog utjecaja akumulacije hidroelektrane u aluvijalnoj dolini na razinu podzemne vode u njezinom zaobalju. Simulacijom budućeg stanja, uz predviđene mjere zaštite od procjeđivanja iz akumulacije u zaobalje, moguće je takve projektirane zaštitne mjere provjeriti na modelu, tj. vidjeti njihov utjecaj na razinu podzemne vode u zaobalju. Postupak odabira zaštitnih mjera, te utvrđivanja njihovih utjecaja na razinu podzemne vode u zaobalju akumulacije hidroelektrane, moguće je ponavljati sve dok se ne riješe na zadovoljavajući način zaštitne mjere.

Literatura i elaborati

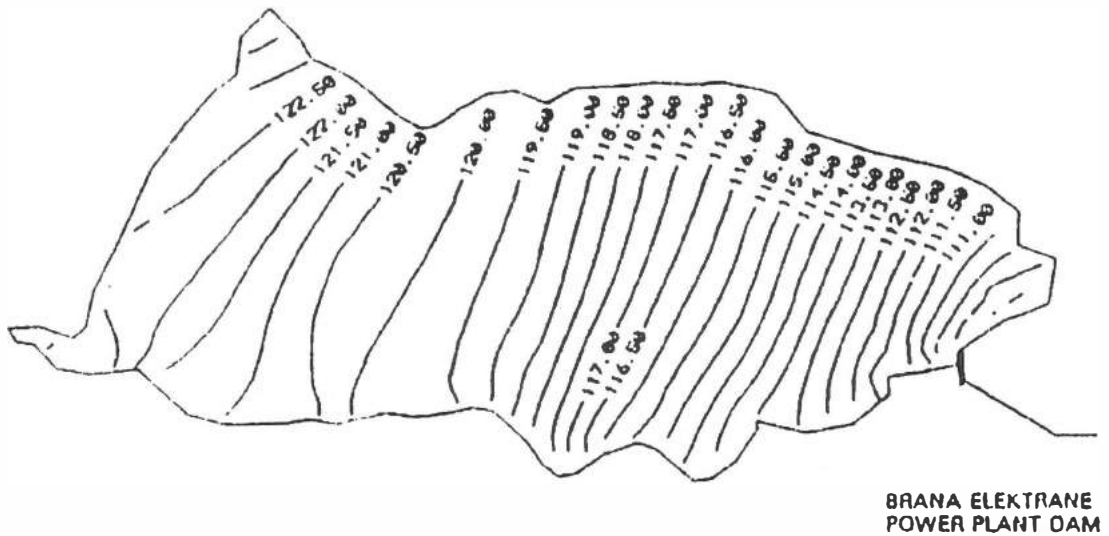
1. Prof. dr. Vinko Jović: Uvod u inženjersko numeričko modeliranje, Split, (1993.)
2. Prof. dr. Vinko Jović: Procjeđivanje ispod nasipa kroz holocenski nanos, arhiva Elektroprojekta, 1984.
3. HE Novo Virje, Matematički modeli podzemnih voda, Elektroprojekt, 1993.



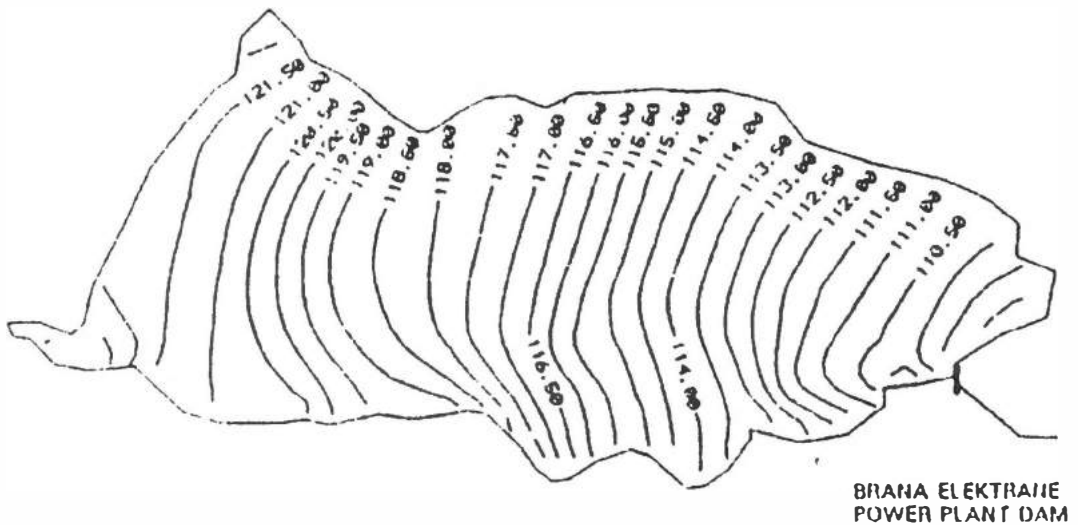
Slika 1. Linije istih razina podzemne vode - prirodno stanje - visoki vodostaji
 Figure 1. Ground water level contour lines - natural state - high water level



Slika 2. Linije istih razina podzemne vode - izgrađeno stanje
 Figure 2. Ground water level contour lines - built power plant



Slika 3. Linije istih razina podzemne vode - izgrađeno stanje s geotehničkim bunarima
Figure 3. Ground water level contour lines - built power plant with relief wells



Slika 4. Linije istih razina podzemne vode - izgrađeno stanje s geotehničkim bunarima i površinskom odvodnjom
Figure 4. Ground water level contour lines - built power plant with relief wells and surface drainage



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Tea Režek, Slavko Šobot

R 4-09

Sustavna kontrola zdravstvene ispravnosti voda bunara vodocrpilišta Nedelišće

Tea Režek, Slavko Šobot

SAŽETAK: *Obradeni su rezultati višegodišnjeg monitoringa zdravstvene ispravnosti vode za piće vodocrpilišta Nedelišće. Dosadašnji rezultati pokazuju da se podzemna voda još nije značajnije onečistila, osim u jednom razdoblju kada se znatnije povećala vrijednost nitrata. To nas upućuje, kao i trend povećanja klorida, da je potrebno provesti propisane mjere zaštite zona vodocrpilišta.*

KLJUČNE RIJEČI: *podzemna voda, zdravstvena ispravnost*

Systematic Sanitary Evaluation of the Nedelišće Well Field Water

ABSTRACT: *The results were processed of a long-term sanitary monitoring of the potable water from the Nedelišće Well Field. The results obtained so far indicate there is no significant pollution of the groundwater, with the exception of an interval when the nitrates had considerably increased value. This, and the chlorides increase tendency, indicate a need to implement the stipulated protective measures in the well field area.*

KEY WORDS: *groundwater, sanitary evaluation*

Uvod

Prostor Medimurja predstavlja značajan prirodni spremnik pitke vode. To je prostor aluvijalnih nanosa u međurječju Drave i Mure koji seže od Varaždinskih gorica do prekomorskih prostora u Mađarskoj. Medimurje se na temelju reljefa terena, geološke građe i morfoloških karakteristika može podijeliti na tri zone i to -Medimurske gorice -dio izgrađen uglavnom od tercijarnih naslaga, te Čakovečki ravnjak i nizine Drave i Mure, izgrađene od kvartarnih naslaga. To je područje interesantno za vodoopskrbu jer se odlikuje bogatim nalazištima podzemne vode. Kvartarne naslage predstavljaju se kao riječne terase aluvija Drave i Mure, na čije su formiranje najviše djelovali neotektonski pokreti u kvartaru, tako da su one na području Medimurja različite debljine - vodonosne naslage su debljine od 30 do 150 m.

Inače se debljina u pravilu smanjuje prema istoku i zapadu. Naslage se sastoje od dva sloja - površinskoga sloja (pijesak i prah u gornjem dijelu pokriveni humusom) i vodonosni sloj koji se u ovisnosti o lokaciji nalazi na dubinama većim od 3 m, a sastoji se od pjeskovitog šljunka. Tok je podzemnih voda na području Medimurja, općenito uzevši, u smjeru zapad - istok, što je u skladu s općim padom terena. Tok podzemne vode uz rijeku Dravu s njom je paralelan, a s Murom je paralelan do dijagonalan. U svim hidrološkim situacijama podzemlje se prihranjuje iz akumulacija, a dreniraju ga odvodni kanali.

Na području Medimurja danas se upotrebljavaju crpilišta:

- Nedelišće - pet zdenaca,
- Prelog, i pričuvno crpilište Sv. Marija.

Prije nego što su se provela istraživanja za vodocrpilište Nedelišće u funkciji je bilo vodocrpilište S. Ves (od 1960 godine) koje se ubrzo pokazalo premalog kapaciteta; spustila se razina podzemne vode, a osim toga intenzivna urbanizacija toga područja onemogućila je uspostavu vodozaštitnih zona. Istraživanja su pokazala da je na području Podgalgi, jugozapadno od naselja Nedelišće, lokacija koja je zbog svojega položaja te količine i kvalitete vode, najpovoljnija za smještaj vodocrpilišta. Tako je 1977. u funkciju stavljen prvi zdenac na tom vodocrpilištu. U 1989. godini u funkciju su stavljena još dva zdenca, a 1993. i četvrti zdenac. Prošle se godine bušio i peti zdenac. Danas vodocrpilište Nedelišće ima kapacitet 450 l/s. Osim toga vodocrpilišta u donjem Medimurju od 1981. godine funkcionira i vodocrpilište Prelog - kapaciteta 90 l/s, te pričuvno crpilište Sv. Marija. Sva su crpilišta međusobno spojena magistralnim vodovima, a do kraja 1993. godine izgrađena je vodovodna mreža ukupne dužine 653.154 m. U sklopu sustava nalazi se i 5 spremnika ukupnog kapaciteta 2 750 m³.

Materijal i metode

U ovom radu su obrađeni svi raspoloživi podaci dobiveni u sklopu kontrole zdravstvene kvalitete vode iz pojedinih zdenaca crpilišta u Nedelišću za razdoblje 1977-1994. (zdenac B₁); 1989.-1994. (zdenci B₂ i B₃), odnosno od 1990-1994. (zdenac B₄). Podaci su dobiveni iz arhiva Doma zdravlja Čakovec, a za pijezometre od JVP Vodoprivrede Čakovec, i obuhvaćaju dio podataka osnovne pijezometarske mreže (uključeno je bilo 8 pijezometara).

Zdravstvenom kontrolom obuhvaćeni su sljedeći pokazatelji: **fizičko-kemijski** (boja, miris, mutnoća, okus, utrošak KMnO₄ i pH); **kemijski** (kloridi, amonijak, nitriti, nitrati, pesticidi); **bakteriološki** (ukupni koliformi, fekalni koliformi, broj aerobnih mezofilnih bakterija).

S obzirom na to da se tijekom ispitivanog perioda dobivene vrijednosti pojedinih pokazatelja nisu znatnije mijenjale, ti pokazatelji nisu obrađeni u ovome radu, npr. pesticidi i bakteriološki pokazatelji, jer nije utvrđena njihova prisutnost u ispitivanim uzorcima vode.

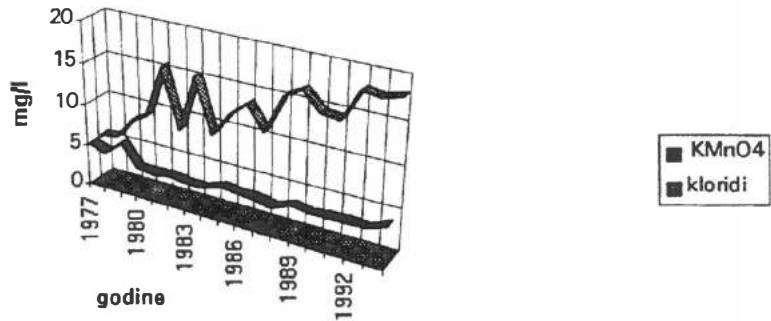
U radu su obrađene dobivene vrijednosti za utrošak KMnO₄, kloride, slobodni amonijak, nitrite i nitrate.

Rezultati

Višegodišnje sustavno opažanje sastava podzemne vode vodocrpilišta Nedelišće omogućilo nam je uvid u stanje kvalitete njegove vode.

Slika 1. Srednje vrijednosti utroška $KMnO_4$ i količine klorida na Vodocrpilištu Nedelišće

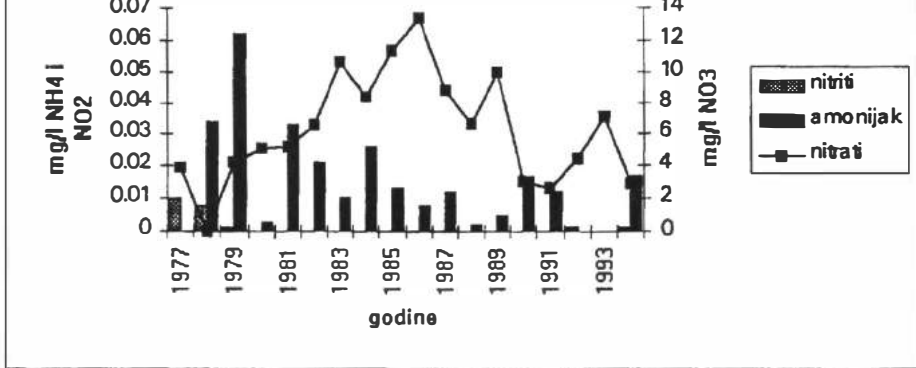
Fig 1. Average consumption $KMnO_4$ and chloride in water supply Nedelišće



Na slici 1. prikazane su srednje vrijednosti utroška $KMnO_4$ i sadržaja klorida, a na slici 2. srednje vrijednosti dušičnih spojeva (NH_4 , NO_3 i NO_2) toga vodocrpilišta u periodu od 1977. do 1994. godine.

Slika 2. Srednje vrijednosti dušičnih spojeva na Vodocrpilištu Nedelišće

Fig 2. Average nitrogen compound values in water supply Nedelišće



Tijekom ispitivanog razdoblja opaža se jače variranje utvrđenih vrijednosti nitrata i klorida, a vrijednosti ostalih parametara su manje više ujednačene.

Kao što je vidljivo iz tablice 1., ekstremne vrijednosti dušičnih spojeva utvrđene su za amonijak od 0 do 0.14 mg/l, za nitrite od 0 - 0.038 mg/l i za nitrata od 0.93 - 18.11 mg/l.

Tablica 1. Minimalne i maksimalne vrijednosti kontroliranih parametara za razdoblje od 1977. do 1994. godine

Table 1. *Minimum and maximum values of monitored parameters during 1977. to 1994. period*

Godina	nitriti*	amonijak*	nitrati		KMnO ₄		kloridi	
	max.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
1977	0.03	0	3.22	4.76	3.16	7.47	3.9	7
1978	0.038	0.083			3.16	5.8	3.5	11.72
1979	0.007	0.0553	2.09	5.6	3.16	11.7	4	18.11
1980	0.001	0.018	3.08	5.88	3.16	3.16	4.97	15.98
1981	0	0.083	3.08	8.12	3.16	4.42	4.97	44.38
1982	0.003	0.061	4.06	9.1	3.16	6.05	3.57	19.7
1983	0.001	0.119	10.4	18.11	3.16	5.16	3.91	46.01
1984	0	0	3.29	10.54	3.16	3.16	3.91	13.65
1985	0.002	0.046	8.88	15.6	3.16	9.17	10.3	13.14
1986	0.001	0.028	11.2	15.75	3.16	6.32	11.36	15.81
1987	0.01	0.125	4.59	14.8	3.16	4.26	4.39	14.43
1988	0	0.02	3.6	13.15	3.16	4.11	13.14	18.22
1989	0.001	0.03	2.43	16.38	3.16	5.67	10.7	29.11
1990	0.001	0.05	0.93	5.24	1.26	47.4	3.47	23.8
1991	0.01	0.02	1.32	7.89	3.14	10.75	9.25	22.72
1992	0.03	0.02	1.08	6.11	1.29	10.8	9.58	37.63
1993	0.03	0.01	1.35	6.9	1.5	6.5	10	21.1
1994	0.02	0.14	1.2	7.2	1.2	11.2	9.7	44

* minimalne vrijednosti amonijaka i nitrata jednake su 0

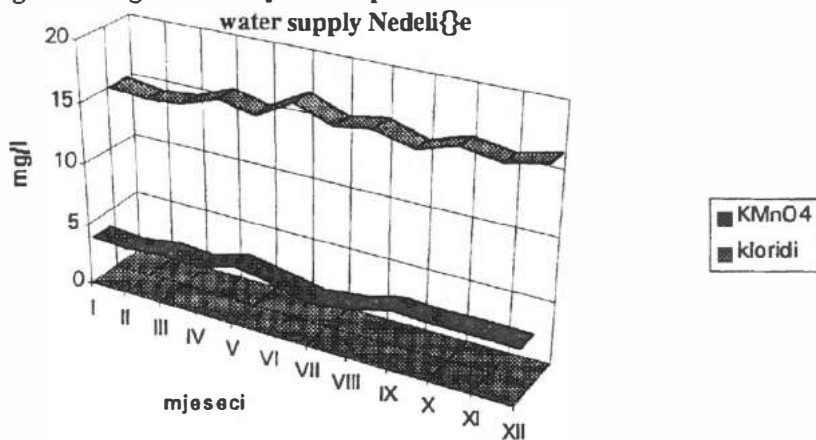
Srednje mjesečne vrijednosti utvrđene tijekom cijelog ispitivanog perioda prikazane su na slici 3. i 4.

Srednje mjesečne vrijednosti za utrošak KMnO₄ i kloride ne pokazuju neko veće kolebanje tijekom godine, dok su vrijednosti nitrata najviše u periodu od 4. - 6. mjeseca i u 11. mjesecu, a vrijednosti amonijaka bile su najviše u ožujku.

Analize vode pijezometara, iako su uzimani na različitim lokacijama u Međimurju, nisu pokazale veća odstupanja u vrijednostima praćenih parametara. Na slici 5. prikazane su srednje vrijednosti obrađenih parametara za period od 1992. do 1994. godine. Vidljiv je lagani porast vrijednosti klorida, te pad vrijednosti dušičnih spojeva, osim amonijaka, u 1994. godini kada je zabilježen nagli porast.

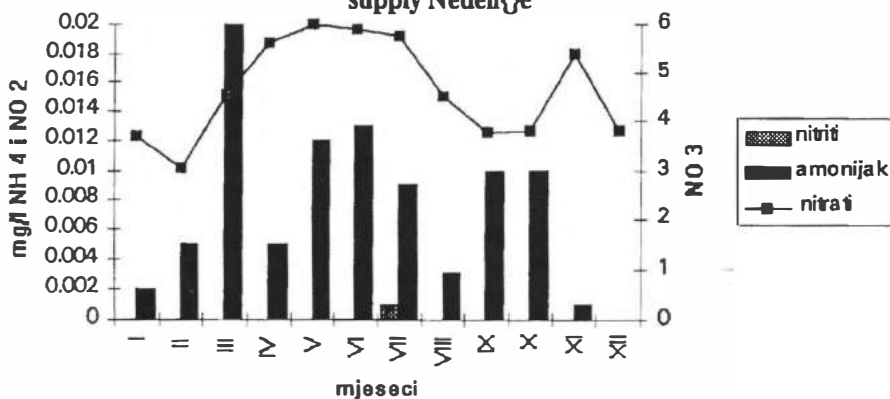
Slika 3. Srednje mjesečne vrijednosti utroška KMnO4 i količine klorida na Vodocrpilištu Nedeliže

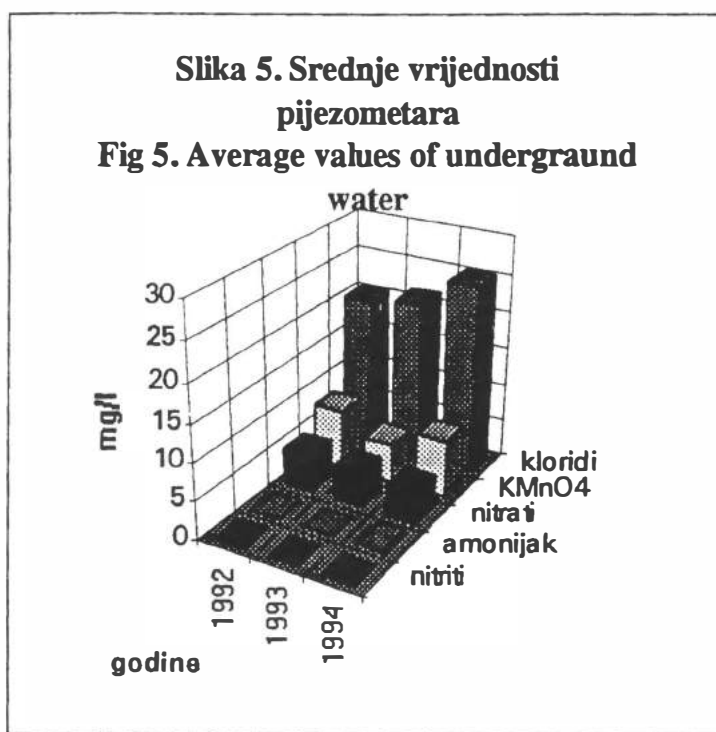
Fig 3. Average of monthly consumption KMnO4 and chloride in water supply Nedeliže



Slika 4. Srednje mjesečne vrijednosti dušičnih spojeva na Vodocrpilištu Nedeliže

Fig 4. Average of monthly nitrogen compound values in water supply Nedeliže





Rasprava

S obzirom na mnoge prednosti eksploatacije osnovnih voda aluvijalnih naslaga, one predstavljaju vrlo značajan izvor vodoopskrbe. Nalazišta tih voda pružaju mogućnost da se formiraju crpilišta u blizini najvećih potrošača, te nije potreban dug transport. Osnovne vode aluvijalnih naslaga obično imaju zadovoljavajuću kvalitetu i kontinuiranu izdašnost tijekom godine, za razliku od površinskih voda koje podliježu kvantitativnim i kvalitativnim fluktuacijama. Dosadašnja kontrola tog vodocrpilišta potvrđuje te pretpostavke, jer svi ispitivani parametri nisu prelazili propisane MDK vrijednosti vode za piće, osim nitrata u periodu do 1983 do 1989 godine.

Utvrđene zone zaštite, prema Sl. vjesniku Općine Čakovec broj 5/1989., i propisane mjere za zaštitu voda nisu se poštovala u potpunosti (nema vodonepropusne kanalizacije naselja, upotrebljavaju se umjetna i prirodna gnojiva, te sredstva za zaštitu bilja u blizini vodozaštitnih zona).

Na sreću, usprkos neadekvatno provedenim mjerama zaštite, do danas još nije utvrđeno onečišćenje podzemnih voda pesticidima. Međutim, povećane koncentracije nitrata (do 18.11 mg/l - MDK je 10 mg/l) ukazuju na djelimično nepridržavanje mjera zaštite u drugoj vodozaštitnoj zoni. Nakon 1989. godine zabrana držanja stoke, te uređenje i eliminacija smetlišta u zaštitnim zonama, odrazilo se smanjenjem vrijednosti nitrata (0.93 - 7.89 mg/l). Srednje vrijednosti klorida pokazuju trend laganog povećanja, pa, iako nije zdravstveno rizičan parametar, svojim povećanjem ukazuje na onečišćenje podzemne vode.

Ostali praćeni parametri (senzorski, fizičko-kemijski, kemijski i mikrobiološki) nisu utvrđenim vrijednostima ugrožavali zdravstvenu ispravnost podzemne vode tog vodocrpilišta.

Zaključci

Rezultati dosadašnjih kontrola (monitoringa) pokazuju da još nije došlo do ozbiljnijeg onečišćenja podzemnih voda vodocrpilišta Nedelišće. Međutim, utvrđene povišene vrijednosti nitrata u jednom razdoblju ispitivanja ukazale su na onečišćenje organskim otpadom. Nakon što su se provele mjera za smanjenje njegova unosa, vrijednosti nitrata su došle unutar dozvoljenih granica. Taj primjer kao i lagani trend povećanja koncentracije klorida u podzemnoj vodi, ukazuje na pomno provođenje propisanih zaštitnih mjera.

ZAHVALA - autori se zahvaljuju JVP-u, Vodoprivreda Čakovec i HES-u Doma zdravlja Čakovec na uvidu u rezultate kontrole zdravstvene ispravnosti podzemne vode vodocrpilišta Nedelišće.

Literatura

1. Mayer D.: Kvaliteta i zaštita podzemnih voda, Zagreb 1993
2. Mayer D.: O potrebi sustavnog opažanja promjena kvalitete podzemne vode u poljoprivrednim područjima, Znanstveni skup - Poljoprivreda i gospodarenje vodama, Bizovačke toplice 17 - 19. 11. 1994., Zbornik radova 89 - 95.
3. Vodopija M., Mardešić V.: Vodoopskrba Međimurja, Međimurje - časopis za društvena pitanja i kulturu 5/1984., Čakovec, 1984., str. 63 - 72.
4. Novak V.: Tok podzemnih voda u prvom šljunčanom sloju na području Međimurja, Varaždin, 1993.
5. Pregled podataka o Županiji međimurskoj, Čakovec, 1994.
6. Guidelines for drinking-water quality, World Health Organization Geneva, second edition, volume 1, Geneva, 1993.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Gordana Marović, Jasminka Senčar

R 4-10

Prirodna radioaktivnost ^{226}Ra u podzemnim vodama

SAŽETAK: U Republici Hrvatskoj postoje brojni izvori podzemnih voda: termalnih i mineralnih. Poznato je da su takove vode bogate prirodnim radioizotopima, među kojima je posebno interesantan radij, izotop ^{226}Ra , zbog svoje izuzetne radiotoksičnosti. S obzirom na dugo vrijeme poluraspada ^{226}Ra ($T_{1/2} = 1622$ god) i moguće neželjene učinke izazvane unosom vode s povišenim sadržajem radija u organizam, neophodno je pratiti koncentraciju tog radioizotopa bilo da se radi o pitkoj, mineralnoj ili termalnoj vodi.

U radu su prikazani rezultati istraživanja radioaktivne kontaminacije ^{226}Ra termalnih i mineralnih voda na nekoliko lokacija u Republici Hrvatskoj i komentiran je utjecaj na čovjeka proračunom doze u slučajevima kad je ta voda predviđena za konzumaciju.

KLJUČNE RIJEČI: radioaktivna kontaminacija, radij, termalni izvori, efektivna doza

NATURAL GROUNDWATER RADIOACTIVITY ^{226}Ra

ABSTRACT: The Republic of Croatia has numerous groundwater springs, both hot and mineral. Such water is rich in natural radioisotopes and radium, and isotope ^{226}Ra , is particularly interesting for its exceptional radiotoxicity. Due to long ^{226}Ra half-life ($T_{1/2} = 1662$ years) and possible detrimental effects of water with increased level of radium on organisms, the concentration of this radioisotope should be monitored in potable, mineral and thermal water.

The paper presents the results of ^{226}Ra radioactive contamination measurements for thermal and mineral water in several locations in the Republic of Croatia, and describes the effect on man through a dose calculation in case consumption of this water is planned.

KEY WORDS: radioactive contamination, radium, hot (thermal) springs, effective dose

U Republici Hrvatskoj postoje brojni izvori podzemnih voda. Pored običnih slatkih voda, koje su svakodnevna potreba čovječjeg organizma, postoje i ljekoviti izvori koji su ljekoviti bilo zbog specifičnog sadržaja mineralnih tvari, bilo zbog količine topline. Termalni izvori razlikuju se po sastavu minerala karakterističnom za svaki pojedini izvor, što je određeno geološkom strukturom i interakcijom tih voda s podzemnim slojevima kroz koje prolaze. [1] Toplinu imaju zato što nastaju u dubljim slojevima Zemljine kore gdje je veća toplina i viši tlak. Ovisno o svojstvima podzemne vode, njena primjena može biti vrlo različita. Neki od postojećih izvora termalnih voda u Hrvatskoj upotrebljavaju se u širokom rasponu: od rekreativnog kupanja u toplicama i posebnih medicinskih terapijskih tretmana, zagrijavanja bazena i prostorija, pa do punjenja u boce za komercijalnu upotrebu. Neka pak, uglavnom novija nalazišta podzemnih voda, tek traže primjenu i pretpostavka je da će se jednoga dana upotrijebiti za zagrijavanja prostorija i za tehničke potrebe, što bi značilo velike uštede u potrošnji energije.

Rezultati brojnih istraživanja pokazuju da su podzemne vode bogate prirodnim radioizotopima, osobito radijem (^{226}Ra).[2]

Značenje termalnih izvora za očuvanje i poboljšavanje zdravstvenog stanja čovjeka isticano je od davnih vremena. Kada se otkrila radioaktivnost, počelo se smatrati da i prisutnost radioaktivnih tvari daje vodi ljekovito djelovanje. Međutim, danas je poznato da prekomjeran unos radioaktivnih tvari u ljudski organizam ingestijom ili inhalacijom može izazvati negativne biološke učinke.

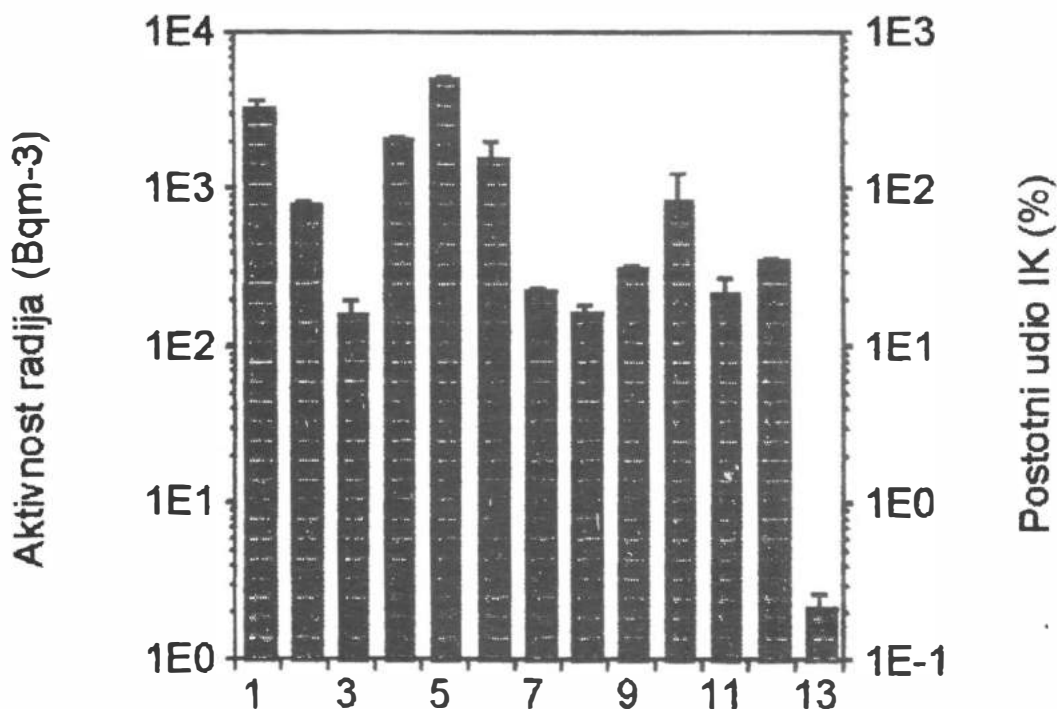
Proučavanje podzemnih voda ima veliko značenje stoga što je ^{226}Ra izuzetno radiotoksičan i jedan od najtoksičnijih osteotropnih radioizotopa. Kemijski je sličan kalciju, slijedi iste metaboličke puteve i lako se translocira u prehrambeni lanac i vodu. Konzumacijom kontaminirane vode i hrane taloži se u koštano tkivo. S obzirom na dugo vrijeme poluraspada ^{226}Ra ($T_{1/2} = 1622$ god) i svakodnevno unošenje vode u organizam, neophodno je pratiti koncentraciju tog radioizotopa i tako eventualno spriječiti neželjene učinke.[3,4,5]

Odjel za zaštitu od zračenja, u sklopu mjerenja radioaktivnosti životne sredine, godinama provodi istraživanja voda termalnih i mineralnih izvora u Republici Hrvatskoj s ciljem da se dobiju podaci o aktivnosti radioizotopa prisutnih u vodama. Naglasak je stavljen na istraživanja onih izvora gdje se termalna voda s visokim sadržajem ^{226}Ra upotrebljava za kupanje, medicinski tretman, a upotrebljava se i za piće u sklopu terapija ili izvan njih. Procijenjena je doza zračenja od konzumacije izvorske vode.

Uzorci podzemnih voda sakupljani su u nekoliko odabranih toplica u svim izvorima, kao i na bušotinama INA-NAFTAPLINA (Bizovačke Toplice, Đakovačka Breznica, Istarske Toplice, Krapinske Toplice, Split, Stubičke Toplice, Šalata, Tuheljske Toplice, Varaždinske Toplice i Velika Ciglena). Na svim uzorcima provedena je radiokemijska analiza separacije ^{226}Ra . Radij je određen alfaspektrometrijskim mjerenjem pomoću Si(Li) detektora. Vrijeme mjerenja svakog uzorka bilo je od sedamnaest do dvadeset i četiri sata.

Rezultati istraživanja aktivnosti ^{226}Ra u izvorima podzemnih voda pokazuju široki raspon aktivnosti. Primijećene su različite aktivnosti radija u vodi istog izvora, praćene kroz dulji vremenski period. Promjene kemijskih i fizičkih svostava moguće su zbog miješanja podzemnih voda s procjednom vodom, osobito u periodu obilnih kiša i topljenja snijega. Temperature ispitivanih izvora kreću se od 28 °C do 96 °C. Funkcijska ovisnost aktivnosti ^{226}Ra izvorske vode o temperaturi nije uočena.

Srednje vrijednosti aktivnosti ^{226}Ra u odabranim izvorima poredanim po abecedi prikazane su na slici 1. Za usporedbu, na slici je brojem 13 prikazana i prosječna vrijednost aktivnosti pitke vode iz vodovoda u Hrvatskoj [5].



Slika 1. Srednje izmjerene aktivnosti ^{226}Ra u izvorima podzemnih voda
 Figure 1. Mean ^{226}Ra values measured in selected underground springs

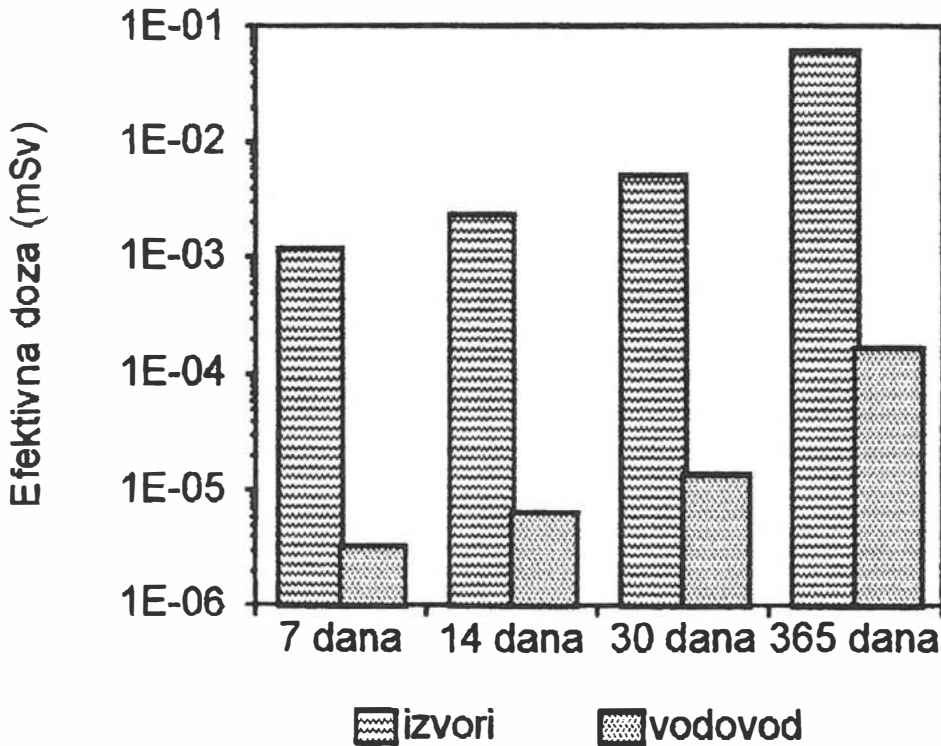
Podzemna voda s najvećom koncentracijom ^{226}Ra je uzorak iz bušotine INE (na slici označena brojem 5).

Komentiranje koncentracija radioizotopa u podzemnim vodama u odnosu na postojeću zakonsku regulativu nije moguće jer su dozvoljene granice definirane samo za pitku vodu. Treba naglasiti da mineralne i termalne vode nisu uključene u zakonsku regulativu kao pitke vode, a niti kao posebna kategorija. Zakonom o preuzimanju saveznih zakona koji se u Republici Hrvatskoj primjenjuju kao republički zakoni, određena je maksimalna granica radioaktivne kontaminacije pitke vode kao izvedena koncentracija za pitku vodu za skupinu stanovnika. Za ^{226}Ra izvedena koncentracija za pitku vodu iznosi 1000 Bqm^3 (6). Također i prema najnovijim preporukama Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) koncentracija ^{226}Ra u vodi za piće ne bi smjela prijeći 1 Bq l^{-1} [7]. Na slici 1. na sekundarnoj su apscisi prikazani postotni udjeli prosječnih aktivnosti u izvedenoj koncentraciji za skupinu stanovnika.

Aktivnosti radija u podzemnim vodama iz bušotina, te termalnim izvorima u nekoliko toplica premašuju zakonom propisanu dozvoljenu maksimalnu granicu radioaktivne kontaminacije. Ostali izvori nalaze se unutar zakonom dopuštenih granica.

Termalna voda uglavnom je našla svoju primjenu u toplicama; izmjerene aktivnosti ^{226}Ra upućuju na potrebu neprestanog praćenja ne bi li se, što je moguće više, smanjio neželjni učinak na korisnike. To je posebno važno u onim toplicama u kojima

se izvorska voda upotrebljava za piće, stalno, ili u sklopu medicinskih terapijskih tretmana. Dobivene aktivnosti u promatranim izvorima mnogostruko su veće od prosjeka za vodovodne vode (npr. od 75 puta u termalnom izvoru Stubičkih Toplica do 370 puta u hipertermi Bizovačkih Toplica). Najaktivniji izvori uglavnom se ne upotrebljavaju za piće, premda ima pojedinačnih slučajeva kada pacijenti sami konzumiraju vodu iako ona nije uključena u terapiju. Budući da u istraživanjima izvora u toplicama, u kojima se koristi terapija pijenja vode, nije nađena voda sa sadržajem radija preko 1000 Bq m^{-3} , dugotrajnije unošenje u organizam moglo bi izazvati neželjene učinke. Za procjenu efektivne doze, zbog unosa ^{226}Ra izvorskom vodom, izračunali smo prosječnu aktivnost samo onih termalnih izvora koji se upotrebljavaju za piće (320 Bq m^{-3}), pretpostavili smo količinu popijene vode (1 l dnevno) i procijenili



Slika 2. Efektivna doza od unosa ^{226}Ra vodom

Figure 2. Effective dose due to ^{226}Ra ingestion by water

trajanje unosa. Rezultati takove procjene prikazani su na slici 2.

Za usporedbu na slici su prikazane i efektivne doze od unosa ^{226}Ra konzumacijom 1 l vodovodne vode u trajanju od sedam, četrnaest, trideset i godinu dana. Možemo zaključiti da već sedmodnevni terapijski tretman više opterećuje organizam nego konzumiranje vodovodne vode tijekom cijele godine. Osim vodovodnih i bunarskih voda, koje se svakodnevno konzumiraju i neznatno opterećuju ljudski organizam (do 1 mSv godišnje), povremeno konzumiranje mineralnih i termalnih voda, iz navike ili terapijski, znatno doprinosi godišnjoj dozi zračenja. Zbog značenja vode u svakodnevnome životu, a zbog voda koje su bogatije prirodnim radioizotopima, osobito radijem, nužna je djelotvorna kontrola svih voda kako bi se izbjegli neželjeni učinci na zdravlje čovjeka.

Literatura

1. IAEA, *The Environmental Behaviour of Radium*, Technical Reports Series No. 310.Vol.1. Vienna,1990.
2. Kobal I., Kristan J., Ančik M., Jerančič S., Skofljanec M.: *Radioactivity of Thermal and Mineral Springs in Slovenia*, Health Phys 1979, 37: 239-242.
3. Wrenn M.E., Durbin P.W., Howard B., Lipsztein J., Rundo J., Still E.T., Willis D.I. *Metabolism of Ingested U and Ra*, Health Phys 1985, 48: 601-633.
4. Kahlos H., Asikainen A. *Internal Radiation Doses from Radioactivity of Drinking Water in Finland*, Health Phys 1980, 39:108-111.
5. Marović G., Senčar J., Bauman A.: ²²⁶Ra in Drinking Water in the Republic of Croatia, Arh hig rada toksikol, 1994, 45:151159.
6. Zakon o preuzimanju saveznih zakona iz oblasti zdravstva koji se u Republici Hrvatskoj primjenjuju kao republički zakoni, Narodne novine, Službeni list Republike Hrvatske, br. 53. 1991.
7. World Health Organization (WHO). *Guidelines for the Drinkingwater Quality*. Recommendations, WHO, Geneva, 1993.



Tanja Roje - Bonacci

R 4-11

Piezometarski pritisci, efektivna naprezanja, inducirani potresi

SAŽETAK: Rad je predložak za raspravu o eventualnoj vezi između promjena stanja naprezanja u stijenskoj masi, uzrokovanih promjenom piezometarskih pritisaka kao posljedice velikih akumulacija, i inducirane seizmičnosti primijećene kod ovakvih građevina. Poznate pojave u mehanici tla, koje su posljedica efektivnih naprezanja, pokušavaju se primijeniti u drugome mjerilu za stijensku masu koristeći se načelom "veličine lonca".

KLJUČNE RIJEČI: inducirani potresi, akumulacije, krš, piezometarski pritisci, efektivno naprezanje, stijenska masa, velike brane

Piezometric Pressures, Effective Stresses, Induced Earthquakes

ABSTRACT: The paper discusses possible interdependence between the change in rock mass stress condition caused by changes in piezometric pressures due to impoundment of large reservoirs, and induced seismicity observed in such structures. The attempt was made to apply on rock mass, in a modified scale, the known soil mechanics phenomena which are the consequence of the effective stress using the "pot size" principle.

KEY WORDS: induced earthquakes, reservoirs, piezometric pressures, karst, effective stress, rock mass, large dam

1. Uvod

Prema podacima u literaturi [1], više je nego očito da umjetna jezera, koja nastaju kao posljedica izgradnje velikih brana, povećavaju učestalost potresa u okolici takvih građevina. Prema raspoloživim podacima, također se može uočiti da je učestalost potresa povećana u početku života jezera, tj. u prvim godinama njegova punjenja i pražnjenja. Prema Stojić i dr. (1994), u okolici akumulacije Bileća povećana je seizmičnost za vrijeme prva četiri ciklusa, ali je naročito izražena u drugome i trećemu kada je kod spuštanja nivoa vode došlo i do potresa znatne jačine. Eksperimentalno se pokušalo utvrditi koliko su takve uočene pojave zaista inducirane, a ne slučajne, što je također prikazano u literaturi [1]. Mjerenjima u sjevernoj Kaliforniji na geotermalnome polju, [2], utvrđena je na osnovi 17 godina mjerenja, jaka korelativna veza između injektiranja fluida u podzemlja i inducirane seizmičnosti. Obje te pojave uzrokuju promjene piezometarskih pritisaka u stijenskoj masi.

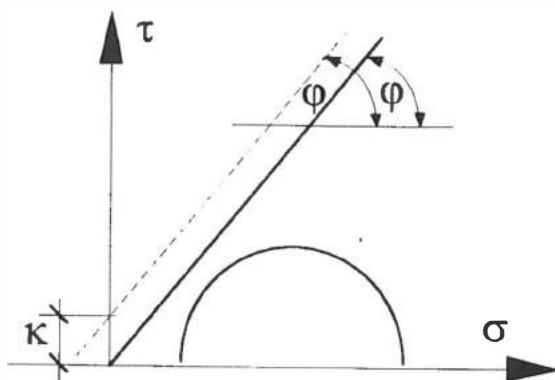
Značajne promjene piezometarskih tlakova u stijenskoj masi poznate su u kršu. Mjerenjima na piezometrima na lokaciji Prančević u slijevu Cetine uočeno je da oscilacije razina podzemne vode mogu biti vrlo velike ($\Delta H > 100$ m) i vrlo brze ($v_t > 3$ m/s) [5]. Mjerenja na rijeci Ombli, napravljena u svrhu izgradnje podzemne akumulacije, pokazala su također oscilacije razina podzemne vode i do $\Delta H = 100$ m [6]. Ove prirodne oscilacije podzemne vode nisu uzrokovale povećanu učestalost seizmičke aktivnosti iako se podaci za Ombli i branu Grnčarevo iz literature [1] i [6] mogu povezati vremenski, a prostorno su vrlo bliski.

Ovaj rad će pokušati dati određeno objašnjenje tih pojava analizirajući promjenu stanja naprezanja, koja nastaju promjenom piezometarskih tlakova u stijenskoj masi. Tom prilikom dolazi do promjena vrijednosti parametara čvrstoće na smicanje, ali i efektivnih naprezanja o kojima ovisi čvrstoća, a što sve zajedno može prouzročiti slom unutar stijenske mase koji inducira potres. Nakon ponovne uspostave ravnoteže, koja se može pojaviti nakon više ciklusa promjena stanja naprezanja, povećani piezometarski tlakovi ne prave daljnje poremećaje u masivu te se stoga broj zabilježenih potresa vraća na mjeru prije izgradnje umjetnoga jezera. Na žalost mjerenja u nas su vrlo oskudna i kratkotrajna. Najčešće se obavljaju nakon izgradnje objekta tako da ima vrlo malo podataka prethodnog stanja te je primijećene pojave teško generalizirati.

2. Svojstva stijenske mase i mehanizam smicanja

Temeljno svojstvo stijenske mase u kršu ide u dva smjera [3]. S dubinom su krški oblici rjeđi, ali su im dimenzije velike. To su kanali i spilje unutar kojih se kreće podzemna voda gravitaciono i pod tlakom. S druge strane "monolitna" masa uvijek pokazuje tri familije pukotina i prslina, koje su u tom slučaju zatvorene, ali postoje, te se u određenim uvjetima mogu otvoriti. U zatvorenim pukotinama voda, ako se kreće, kreće se kapilarno, i na taj način na stijenke pukotina djeluje vlačnim silama (prividna kohezija kod vlažnog pijeska). Činjenica je da je čvrstoća na smicanje unutar stijenske mase manja duž pukotinskih sustava nego unutar monolita. Stoga se može očekivati da se prva prekoračenja čvrstoće na smicanje u stijenskoj masi događaju u jednoj od familija pukotina.

Analiziramo li za početak samo pukotine bez ispune, zatvorene, bez obzira na njihovu hrapavost, tada stanje naprezanja u pukotini možemo prikazati pomoću Mohrovih kružnica kao na slici 1.



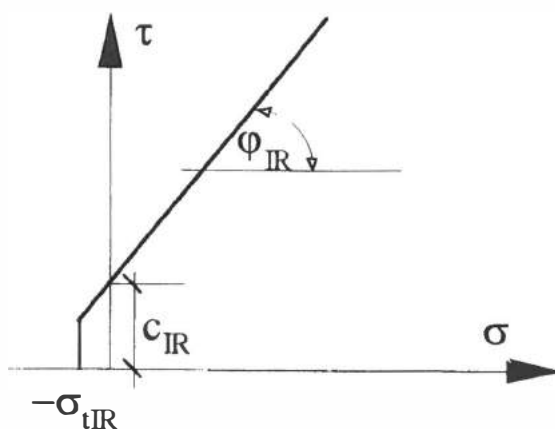
Slika 1, Stanje naprezanja u točki pukotine u kojoj vladaju sile kapilarnoga tlaka

Figure 1, Stress status in the fissure with capillary forces

Pritom je vrijednost posmičnog naprezanja, kada je normalno jednako nuli, jednaka prividnoj koheziji prikazanoj veličinom k , ako se u pukotini nalazi kapilarno vezana voda. Takva pukotina u određenim uvjetima može izdržati i određena vlačna naprezanja. U nekoj od familija prslina mogu postojati i materijalni mostovi, koji daju promatranoj plohi određenu vlačnu čvrstoću, koja u ukupnom zbiru sila igra važnu ulogu, jer za ukupnu posmičnu silu možemo pisati:

$$T = \sum_A \tau * \Delta A \quad (1)$$

gdje je A ukupna površina materijalnih mostova, a τ , čvrstoća na smicanje monolita iz jed. (2). Ako posmičnu silu T shvatimo kao onu koja djeluje s dijelom kohezije samo u materijalnim mostovima, onda je jasno kolika je vrijednost veličine ukupne površine materijalnih mostova u najopterećenijoj familiji pukotina. U tom slučaju odnos



normalnog i posmičnog naprezanja izgleda kao na slici 2 prema [9].

Slika 2, Kriterij vlačnog sloma monolita pri troosnom ispitivanju
Figure 2, Tension cut-off criterion in triaxial test of rock sample

Svaka promjena efektivnih naprezanja u najslabijem pukotinskom sistemu može dovesti do takvog stanja naprezanja koje se približava lomu. Kod zatvorenih pukotina kao i kod jako zbijenih pijesaka, da bi se lom ostvario, potreban je porast obujma unutar kojega se može ostvariti deformacija [4].

Najčešće promjene stanja naprezanja uzrokovane su promjenom piezometarskih tlakova. Ta promjena može ići u dva smjera: a) porast razine podzemne vode, porast piezometarskih tlakova i smanjenje efektivnih naprezanja, promjena vrijednosti parametara čvrstoće na smicanje, b) opadanje razine podzemne vode i piezometarskih pritisaka s povećanjem efektivne obujamske težine stijenske mase zbog zaostajanja vode u uskim pukotinama, u kojima brzina istjecanja ne može pratiti brzinu opadanja razine vode u okolici, te sa zaostalim pornim tlakom u dijelu pukotina (proces konsolidacije).

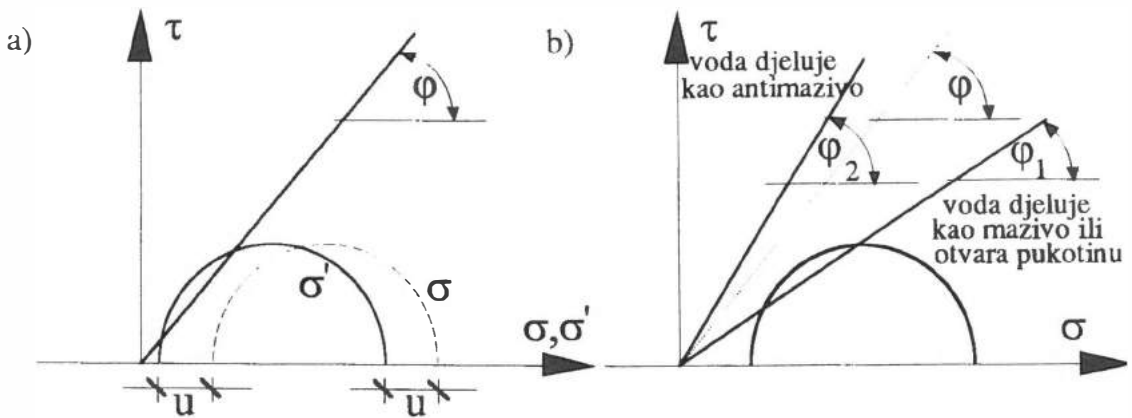
3. Porast vodostaja

Usvojimo li sliku 1 kao osnovni model stanja naprezanja u kritičnom pukotinskom sustavu, promotrimo koje sve učinke može imati porast piezometarskih tlakova. Ovo je prikazano na slici 3. Pri ovim razmatranjima čvrstoća na smicanje je određena Mohr-Coulomb - ovim zakonom:

$$\tau = c_{IR} + \sigma_n * tg\varphi_{IR} \quad (2)$$

gdje su c_{IR} i φ_{IR} parametri čvrstoće na smicanje dobiveni troosnim ispitivanjem uzoraka monolita.

Vrijednost kuta unutarnjeg trenja φ u pukotini može biti samo jednaka ili manja od one koja vrijedi za monolit, što ovisi o svojstvima pukotine.



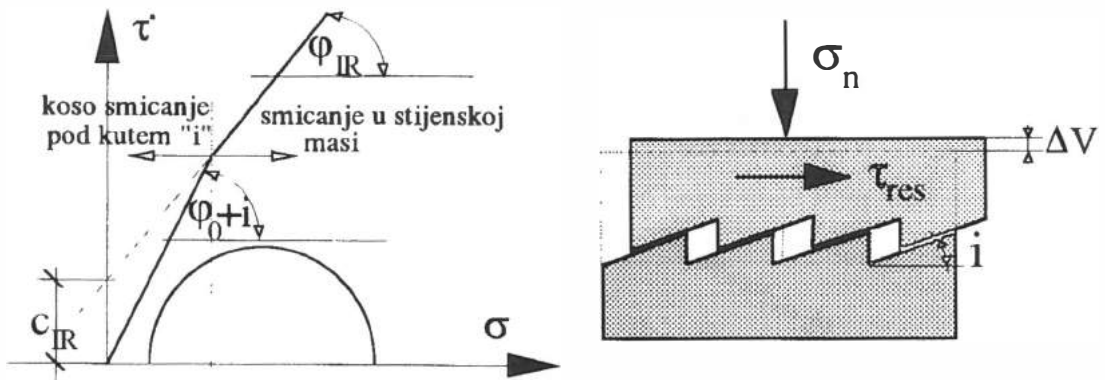
Slika 3, Učinak porasta vodostaja: a) smanjenje efektivnih naprezanja, b) promjena vrijednosti kuta unutarnjeg trenja između kontaktnih ploha pukotine

Figure 3, Effect of water level grow up: a) diminution effective stress, b) change of friction angle between fissure walls

Očito je kako u tijeku porasta vodostaja može doći do prekoračenja čvrstoće na smicanje iz više razloga. Otvaranjem pukotina smanjuje se ukupna ploha nalijeganja što ima kao konačan rezultat ukupnu manju čvrstoću na smicanje ($\int \tau * dF$), gdje je

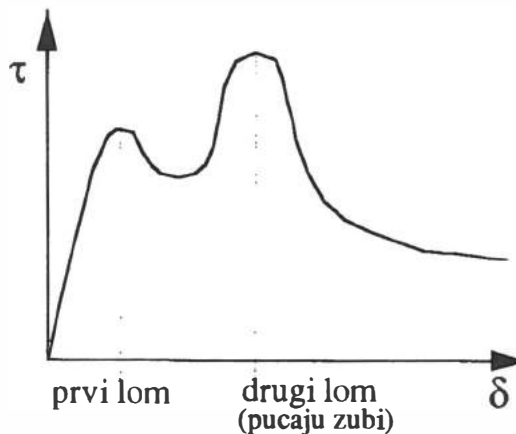
F

ukupna preostala površina dodira između neravnina u pukotini. Kada se u sustavu pukotina dogodi deformacija zbog prekoračenja čvrstoće na smicanje, najčešće u drugom koraku dolazi do preraspodjele naprezanja tako da na gore spomenutim dodirima neravnina dolazi do koncentracije naprezanja (slika 7), do te mjere da više ni svojstva monolita nisu dovoljna da se odupru lomu. To je poznato načelo bilinear-mog kriterija sloma, koji je prikazan na slici 4 [4]. Pri kosom smicanju dolazi do porasta obujma i smicanja u smjeru plohe najmanjeg otpora nagib koje je predstavljen kutem "i". pri daljnjem smicanju kroz stijensku masu savladavaju se sile kohezije, koje imaju vrlo visoke vrijednosti.



Slika 4, Bilinearni kriterij sloma
Figure 4, Bilinear failure criterion

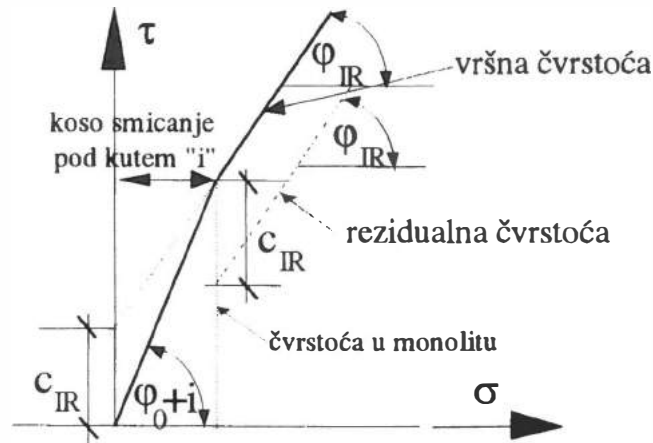
Najčešće se za kut φ dobiva vrijednost od 56° . krivulja odnosa naprezanje-deformacija tada prema [7] izgleda kao na slici 5. Da bi se gore spomenuta pojava ostvarila, treba postojati mogućnost porasta obujma stijenske mase potrebnog za smicanje duž "zubi" (pomak okomit na analiziranu plohu smicanja, nazvan "dilatancy", a koji se zorno vidi na modelu na slici 4). Ako to nije moguće ostvariti, nestaje prvog vrha u dijagramu na sl. 5 i ostaje samo onaj, prouzročen lomom zubi. Kao rezultat toga loma ostaje rezidualna čvrstoća na smicanje τ_{res} prikazana na sl. 6. Mjerenja su, međutim, pokazala da pri značajnom podizanju piezometarskih razina u stijenskoj masi, povećava se njezin obujam. (Mjerenja u okolici Montpelliera u Francuskoj pokazuju vertikalnu deformaciju na mjernom uređaju smještenom u kaverni [8]) Prema tome može se smatrati da je za čvrstoću na smicanje pri porastu vodostaja mjerodavan model sa slike 5.



Slika 5, Naponsko-deformacijska krivulja pri smicanju kroz pukotinu
Figure 5, Stress -strain curve, shear in joint

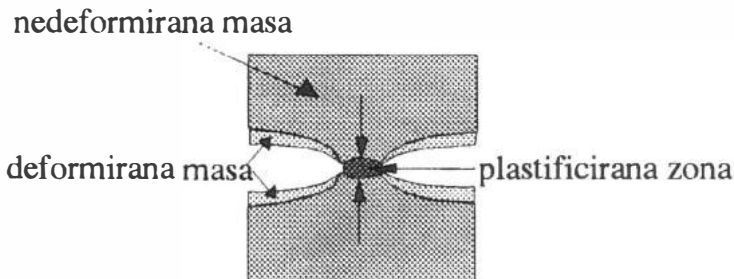
4. Opadanje vodostaja

Pri opadanju vodostaja u pukotinama se uglavnom razvio porni tlak koji je izazvao promjene u vrijednosti parametara. U fazi porasta vodostaja nastupili su pomaci koji su smanjili ukupne površine dodira u najslabijoj familiji pukotina, a neke prsline su postale pukotine sa smanjenom ukupnom površinom materijalnih mostova. U analize bi trebalo uključiti i utjecaj vremena koji je neodvojiv od pojava u elastično-viskozno-plastičnom materijalu kojim se može modelirati stijenska masa. Sve to uvjetovalo je promjenu čvrstoće materijala kako je to pokazano na slici 6.



Slika 6, Vršna i rezidualna čvrstoća na smicanje
Figure 6, Peak and residual shearing strength

Iscjeđivanje vode iz pukotina ne može slijediti brzinu spuštanje vodostaja, te se povećavaju efektivna naprezanja uz dodatne utjecaje sila strujnoga tlaka zbog istjecanja zaostale vode u pukotinama (slično kao proces strujanja u poroznoj sredini), pri čemu se dreniranje obavlja ka prostorima nižih potencijala. U zatvorenim sustavima pukotina, koje su se nalile odozgo, zadržava se zaostala voda koja u pukotinama djeluje hidrostatski. U račun ukupnih naprezanja potrebno je uzeti i težinu zaostale vode, koja istina nije velika, ali je ipak dodatak na primarno stanje naprezanja. Iz gornjega proizlazi da se povećavaju efektivna naprezanja u novoj geometriji. Zbog toga se pojavljuje plastifikacija na lokaliziranim površinama kontakata u pukotinama [4], slika 7.



Slika 7, Razvoj plastificirane zone na kontaktnim površinama u pukotinama i prslinama
Figure 7, Development of plastic zones at localized areas of contact

U trenutku, kada se u novonastalim uvjetima prekorači ukupna moguća čvrstoća na smicanje u masi, koja je u novonastalim uvjetima sposobna pružiti otpor, događaju se lomovi, pomaci i prilagođavanje masiva novostvorenim uvjetima naprezanje - deformacija. Pri takvim pojavama mora se oslobadati velika količina potencijalne energije, što vjerojatno uzrokuje opažene potrese.

5. Zaključak

Uočene pojave pojačane inducirane seizmičnosti u okolici novih akumulacija i na lokalitetima gdje se porni pritisci mijenjaju injektiranjem vode u tlo, mogu se objasniti jednostavnim promjenama stanja naprezanja i time uzrokovanim deformacijama u stijenskoj masi. Slične su pojave odavno izučene u tlu. Problem je samo mjerila promatranja pa, ako se on prilagodi problemu, onda se slični modeli mogu primijeniti za tlo i za stijensku masu. Činjenica da prirodne promjene piezometarskih tlakova ne izazivaju pojavu inducirane seizmičnosti, može se protumačiti time da se tijekom vremena prilagodila stijenska masa najkritičnijem stanju naprezanja nakon čega se u stijenskoj masi odvijaju procesi vezani za vrijeme. Ti su procesi vrlo spori te se njihov učinak ne može primijetiti kao povećana učestalost nekog događaja. Prikazani problem vrlo je pojednostavljen i kao takvog ga treba promotriti.

Literatura

1. Stojić, P., Lalić, R., (1994), *Potresi izazvani akumuliranom vodom*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu
2. Mossop, A., Segall, P., (1994), *Induced Seismicity at The Geyses, Northern California*, American Geophysical Union, AGU 1994 Fall Meeting, , December 5-9, San Francisco, California
3. Roje - Bonacci, T., (1994), *Starenje pokosa usjeka i zasjeka u kršu*, Ceste i mostovi, 40, br. 5-6, 227-230, Zagreb
4. Wittke, W., (1990), *Rock Mechanics, Theory and Applications with Case Histories*, Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London
5. Bonacci, O., (1987), *Karst Hydrology*, Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London
6. Bonacci, O., (1995), *Ground Water behavior in Karst - Example of Ombla Spring - Croatia*, J. of Hydrology, 1995 (1-4), 113 - 134
7. Drogue, C., (1993), privatna prepiska
8. Toledo, P.E.C. De, Freitas, M.H.De (1993), *Laboratory testing and parameters controlling the shear strength of filled rock joints*, Géotechnique, vol XLIII, No. 1, March 1993, The Institution of civil engineers, London
9. Franklin, J.A., Hoek, E., (1970), *Developments in triaxial testing technique*, Rock Mechanics 2, 223 - 280



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Slobodan Kolbah, Srećko Čubrić,
Svjetlana Šćuric, Berislav Šego

R 4-12

Prilog za upotrebu hidrogeotermalnih resursa Hrvatske

SAŽETAK: U Hrvatskoj postoji mala, ali obećavajuća geotermalna proizvodnja u panonskom tercijarnom bazenu. Njegov potencijal je niske do visoke entalpije. Utvrđena je mogućnost dotoka geotermalne vode i zasićene pare, pogodna za cijeli spektar primjena, uključujući i mogućnost proizvodnje električne struje. Vodu kao osnovni medij nalazimo u porama stijena vodonosnika, nalazimo je u podlozi ili unutar tercijarnog slijeda koji pretežno ima pokrovni karakter. Naša dosadašnja iskustva i rezultati upućuju na mogućnost očuvanja prirodnih cjelina uz racionalnu proizvodnju i istraživanje, ali jedino uz posredničku ulogu države između istraživača i proizvođača i korisnika kao nositelja akumulacije i napretka.

Upotrebom geotermalne energije mnogi predjeli od Buje do Iloka dobili bi novu kvalitetu i pridonijelo bi se demografskoj i ekonomskoj obnovi te aktiviranju ostalih lokalnih resursa. Zakonsko proglašenje toga resursa mineralnom sirovinom (1992.) tek je početak protoka kvalitetnih i aktualnih informacija u tome dijelu gospodarstva. Naš glavni prilog odnosi se na stvaranje cjelovite fiskalne, ekonomske, tehnološke strukture projekta, koja upućuje na racionalna rješenja na području rudarske i geološke problematike.

Na nizu primjera prikazane su prednosti toga zaokruženoga i kvantificiranoga pristupa koji upućuje na sužavanje vrlo skupih ispitivanja i na iznalaženje pouzdanih rješenja zbog mogućnosti upotrebe raznorodnih informacija. Umjesto zaključka, konkretna detaljna iskustva pokušavaju se projicirati u regionalni plan s ciljem ukupne valorizacije u sklopu ovoga savjetovanja.

KLJUČNE RIJEČI: hidrogeotermalni potencijal Hrvatske, panonski tercijarni bazen, geologija - tehnologija - ekonomika, zaštita okoliša

A Contribution to Utilization of Croatian Hydrogeothermal Resources

ABSTRACT: There is a minor but promising geothermal production in the Tertiary Pannonian basin in Croatia. Its potential is of low to high enthalpy. The possibility of geothermal water and saturated steam inflow has been determined, which offers an array of application possibilities including the electric power production. As the basic medium, water is found in aquifer rock voids, in the bedrock or within the Tertiary sequence which generally has a character of a cover layer. The experience and results obtained so far demonstrate that there is a possibility to conserve natural entities provided the production and research are reasonable, but only with the public authorities as mediators between the researchers and producers (namely users)

The use of geothermal energy would bring new quality to many regions from Buje to Ilok, help both demographic and economic revitalization, and trigger exploitation of other local resources. Proclamation of this resource as mineral raw material through legislation (1992) is only the onset of flow of quality and up-to-date information in this sector of economy. Our main contribution is development of integrated fiscal, economic, and engineering structure of a project which leads to cost-effective solutions in the field of mining and geology.

A number of examples were used to illustrate advantages of this comprehensive and quantified approach. It shall finally result in decrease of very expensive investigations and finding of reliable solutions due to availability of various information.

Instead of any conclusion - an attempt has been made to set the detailed solutions within the framework of the master plan in order to reach general valuation during this Congress.

KEY WORDS: *hydrogeothermal potential, tertiary pannonian basin, geology, engineering, economy, enviromental protection*

Gdje smo i kako dalje

Upotreba je geotermalnih resursa u Republici Hrvatskoj realnost. U tome prednjače područja: Slavonija s Bizovačkim toplicama (blizu Osijeka), Zagrebačka regija s centrom "Mladost" na Savi, a kod Koprivnice (Lunjkovca i Kutraka) i Bjelovara (Velika Ciglena), gdje se ispituju mogućnosti proizvodnje električne struje.

Ti rezultati nisu "slučajni" kao što ni geotermalna energija nije "besplatna". Drugim riječima, za postizanje tih rezultata trebalo se sakupiti potrebna iskustva i saznanja. Pomoću njih je moguće i očuvanje prirodnog okoliša, a istraživanje i geotermalnu proizvodnju uskladiti s tim.

Da bi obrazložili naš prilog, razmatramo tri osnovna elementa: Područje od interesa, priroda geotermalnog potencijala i metode i tehnike njegovog istraživanja, proizvodnje i očuvanja prirodne cjeline.

Kopneno područje Republike Hrvatske u geotermalnom smislu zastupljeno je s dva različita geološka predjela: Dijelovi jadranske platforme s dinarskim ulančanim gorjem i terciarni panonski bazen.

Iako u prvom pratimo izrazito niske geotermalne gradijente, imamo niz značajnih indikacija (suptermalne pojave dubrovačko-neretvanskog područja, Splita i zaleđa) pa čak i Istarske terme (kod Buzeta) s temperaturom vode od 34.5 °C, koje više govore o složenoj geologiji nego o potencijalu. U energetsom smislu zasad znatno je interesantniji kontinentalni prostor, na kojemu su postignuti spomenuti rezultati. Područje panonskoga bazena karakterizira potencijal niske do visoke entalpije (granicu stavljamo na 150 °C). Tu prevladavaju dotoci vruće vode (temperatura do 120 °C) da bi se od 110 °C u smjesu sve više javljao dotok zasićene pare. Utvrđena su sva tri područja primjene toga u svijetu. Upotreba je moguća i na temperaturama manjim od 30 °C za grijanje plivačkih bazena, biodegradaciju, fermentaciju, rudarske i građevinske pogona i uzgoj ribe.

Trenutačno se geotermalne vode s niskim temperaturama do 100 °C (najčešće od 50-80 °C) upotrebljava za grijanje u poljoprivrednoj proizvodnji i preradi; zdravstvu; u održavanju rashladnih sistema; za grijanje urbanih prostora i zgrada u prehrambenoj i drvnoj industriji te za: sušenje, pranje, brzo odleđivanje.

Geotermalni dotoci umjerenih temperatura (100-150 °C) upotrebljavaju se za intenzivno sušenje poljoprivrednih proizvoda i konzerviranje hrane, evaporaciju u šeće-

ranama, kod ekstrakcija soli, pročišćavanje pitke vode (destilacijom) u pripremi građevinskih materijala i slično.

Za nas je bitno da je s današnjim tehnologijama moguća proizvodnja električne struje i industrijske pare na kod nas utvrđenim dotocima visokotemperaturnog područja od 140-180 °C.

Priroda geotermalnog potencijala ponajprije je vezana uz geotermalnu vodu kao energetski medij, pa bi u širem smislu trebalo govoriti o hidrogeotermalnoj energiji. Upotrebu potencijala "suhe vruće stijene" razmatramo u smislu zagrijavanja našega "radnog medija" vode.

Voda je nezaobilazan pratitelj sedimentnih, ali i ostalih stijena koje grade Zemljinu koru, a naročito njene, nama dostupne i ekonomski interesantne, dubine (tisuću do nekoliko tisuća m).

Odnos vode i stijene pratimo od onoga u kristalnoj rešetci minerala, preko zasićenja nepovezanih i međusobno povezanih pora, zatim od različito pokretljive veze u sitnim pukotinama do pukotinskih i kavernoznih sistema značajnih razmjera.

Načelno, za procjenu energetske izdašnosti geotermalnog izvora/bušotine polazimo od: kemijskofizičkih svojstava vode:specifične topline C_v ($Jm^{-3}K^{-1}$) i obujamske mase ρ_v (Kgm^{-3}), koja znatno variraju zbog temperature $T(K)$ i dotoka $q(m^3s^{-1})$.

Sam dotok, iako je kontroliran nizom parametara od viskoznosti fluida, energetskog potencijala ležišta i uvjeta proizvodnje, najosjetljiviji je na efektivnu moćnost propusnih dijelova rezervoarske stijene $he(m)$, koji ovisi o udjelu pornoga prostora ϕ (dijelova jedinice) i o mogućnosti protjecanja kroz njega k (pm^2).

Geološka građa značajnih vodonosnika za geotermalnu proizvodnju u panonskom je bazenu vrlo različita.

Rastrošene i raspucane eruptivne i metamorfne stijene, konsolidirane podloge sedimentata temeljnoga gorja (Tg), značajne su i, na primjer, čine dio vodonosnika u Bizovcu.

Primarno porozne, raspucane i kavernozne stijene mezozoika i posebno okršene karbonatne stijene u podlozi tercijara (Pt) su jedan od najznačajnijih vodonosnika. Tvore glavne rezervoare na spomenutim geotermalnim poljima kod Zagreba, Bjelovara i Koprivnice.

Tercijarni sedimentni slijed, koji je formirao panonski bazen, ima nekoliko interesantnih vodonosnih razvoja: karbonatno kršje s malo transporta ili gotovo bez njega, biogene litotermijske vapnene tvorevine i, konačno, različita pješćana tijela od morskog do fluvijalnog postanka.

Iako je osnovni efekt tercijarnih klastita pokrovne - izolatorske prirode (lapor i glina), spomenuti rezervoari mogu mjestimice imati vrlo povoljne karakteristike naročito u kombinaciji s onima iz njihove neposredne podloge Pt (Zagrebačko geotermalno polje) ili mogu biti važni zbog značajnije prostorne rasprostranjenosti.

Zaštita prirodnog okoliša, odnosno praćenje za nju važnih elemenata, vrlo usko je vezana uz praćenje elemenata geotermalne proizvodnje. Razlog tomu je priroda tehnologije pridobivanja geotermalne topline, koja je u stvari "stimulacija" prirodnih procesa. Tako na primjer prekomjerno istjecanje štetnih sastojaka na površinu i u atmosferu (visoko mineraliziranih voda i štetnih plinova) često nije povoljno ni za geotermalnu proizvodnju zbog gubitka slojne energije i neželjenih hlađenja zbog ekspanzije plina.

Područje primjene toga resursa je **mjesto gdje realiziramo dobit**, kao osnovni motiv dinamičnosti bilo koje aktivnosti.

Ako želimo imati atraktivnu dobit, neophodno je gledati dalje od same proizvodnje energije i njene prodaje potrošaču.

Zdrava alternativa, nama dobro poznatim velikim zatvorenim sustavima, davanje je šanse razvitku korisnika od individualnih i obiteljskih do krupnijih, uz stvaranje opće klime pogodne za to na razini države. Ona bi mogla podržavati carinskim olakšicama i povoljnim kreditima kapitalna i rizična ulaganja u istraživanje i proizvodnju te akumulirati sredstva iz poreza na sekundarnim i tercijarnim djelatnostima, iniciranom upotrebom geotermalne energije.

Prava vrijednost toga nacionalnog resursa je u inicijaliziranju sekundarnih aktivnosti širom zemlje. Mogućnosti upotrebe raspršene su s obzirom na prirodne datosti (na pogodnim lokacijama za proizvodnju). Najveća efikasnost postiže se direktnom primjenom u domaćinstvu, poljoprivredi, stočarstvu, u turizmu i prerađivačkoj industriji.

Razlog da geotermalna energija nije "besplatna" pa čak ni jeftina, proizlazi iz usporedbe s njenom "starijom braćom" (naftnom proizvodnjom). Rizik istraživanja i proizvodnje, ulaganja u izgradnju i direktni troškovi proizvodnje približavaju se onim u naftnoj industriji, a akumulativnost, u usporedbi s proizvodnjom nafte pa čak i plina, znatno je niža.

Iz toga zaključujemo da glavni poticaj razvitku upotrebe toga resursa nije izravna ekonomska dobit i smanjenje energetskega deficita zemlje, već davanje nove kvalitete nacionalnome teritoriju od Buja do Iloka.

Iz toga proizlazi da vođenje, nadzor i gospodarenje tim potencijalom treba shvatiti kao nacionalni interes, jer će se bez toga on teško aktivirati. U tome smislu, iz 1992. "mineralne geotermalne vode iz kojih se može ... upotrijebiti akumulirana toplina u energetske svrhe (... geotermalne vode)", proglašene su prvi put u nas MINERALNIM SIROVINAMA. Taj akt temelji se na pojedinim odredbama Zakona o upravi (1978.-1991.), Zakona o rudarstvu (1991.) i Zakona o ...mineralnim sirovinama... (1977.-1991.). Kao što mu iz punoga naslova pravilnika proizlazi, njime je regulirana "Kategorizacija, klasifikacija i evidencija rezervi mineralnih i geotermalnih voda". Treba reći da je i to rezultat gotovo dva desetljeća istraživačkog i proizvodnoga iskustava stručnjaka Naftaplina i relevantnih stručnjaka u zemlji.

Izradom elaborata o rezervama spomenutih polja, u razradi i proizvodnji, i o ispitivanju novih u skladu s tim aktima, nastoji se ostvariti minimum racionalnosti u istraživanju i u geotermalnoj proizvodnji.

Ako se taj akt shvati kao mjesto dodira interesa sudionika u procesu, on bi morao imati utjecaju na racionalno, i za okoliš prihvatljivo, istraživanje i isto takvo iskorištavanje toga nacionalnoga resursa, te bi trebalo informirati državu i korisnike o postojećem stanju i o daljnjim mogućnostima njegova korištenja.

Naznačena je životnost upotrebe toga resursa jedino ako se zadovolje interesi većega broja sudionika s dislociranim razvojem sekundarnih djelatnosti. Ta regulativa imat će pozitivan utjecaj ako postane mjesto zadovoljenja interesa svih sudionika, kao mjesto s kvalitetnim i aktualnim informacijama.

Naš prilog upotrebi hidrogeotermalnih resursa okrenut je prema rješavanju geoloških i rudarskih problema pomoću matematičko-informatičkog pristupa, uz simulaciju tehnoeconomičkih rješenja i fiskalnih obaveza.

Tako je moguće definirati ključne informacije s područja istraživanja i proizvodnog ispitivanja geotermalnih ležišta i voditi odgovarajuće projekte u tom smjeru.

Na primjer, pri davanju odgovora na pitanje vremena konstantne temperature t_k , tijekom geotermalne proizvodnje, s napajanjem ležišta i povratkom proizvedene vode u ležište, možemo se koristiti algoritmom:

$$\tau_k = Ahe (c_p) L \left[q_w (c_p) w \right]^{-1}$$

Vrijeme konstantne temperature je upravo proporcionalno volumenu ležišta (Ahe) i njegovoj volumnoj specifičnoj toplini (c_p) L i obrnuto proporcionalna odgovarajućim količinama povratnog napajanja ležišta (q_w) vodom volumne specifične topline (c_p) w .

Time je vrlo jasno rečeno koje geološke elemente, u inače složenoj građi ležišta, treba analizirati i definirati, koje su neophodne analize vode i kako oni utječu na proizvodno utisni scenarij.

Isto tako, na tom primjeru, ako se ne zadovoljavamo samo procjenom trenutka promjene inicijalnih uvjeta te nas zanima dinamika i razina pada temperature u dijelu ležišta iz kojega proizvodimo TL, pored poznatih elemenata, uvodimo još i konkretne podatke o inicijalnim temperaturama T_o i temperaturama vode koju vraćamo u ležište T_w , te o toplinskoj vodljivosti podinskih stijena λ ($Jm^{-1}s^{-1}K^{-1}$).

$$T_L = T_w + (T_o - T_w) \operatorname{erf} \left[A \sqrt{\lambda (c_p) L} \right] \left[q_w (c_p) w \sqrt{\tau - \left[Ahe (c_p) L \right] \left[q_w (c_p) w \right]^{-1}} \right]^{-1}$$

Taj empirijski algoritam ovisi i o karakteru promjene erf.

Strojnom obradom na računalima moguće je ispitivanje osjetljivosti pojedinih elemenata i u mnogo složenijim definicijama.

Kvantitativan način definiranja ključnih elemenata omogućava provjeru pojedinih geoloških rješenja s rezultatima hidrauličkih ispitivanja, odnosno razumijevanja dobivenih rezultata u složenim geološkim situacijama.

U slučaju sekundarnih rezervoara u litotamnijskim vapnencima na zagrebačkom geotermalnom polju, prema rezultatima interferencije, potvrđena je seizmostratigrafska interpretacija regresivnih sljedova u kombinaciji sa zonama okršavanja u hiatus fazi tih ciklusa. Time je utvrđena i geometrija ležišta.

Usporedbom termičkih analiza i interpretacijom geofizičkih podataka, izrazita anomalija geotermičkog gradijenta našla se u skladu s mogućnošću postojanja vrlo propusnih pukotinskih zona u karbonatnom tijelu indiciranom bušenjem i interpretacijom geofizičkih mjerenja. Time je unutar njih pretpostavljena termička konvekcija na intervalu od gotovo tisuću metara.

Na geotermalnom objektu Velika ciglena (kraj Bjelovara) sličnim kombiniranim pristupom definiran je tzv. "Z" model veze dvaju izrazito propusnih intervala, uvjetovanih litološkom građom, međusobno povezanim koso nagnutim pukotinskim sustavom super propusnih karakteristika.

Zaključak

Da ne ponavljamo, već ionako vrlo sažeto izlaganje, pokušajmo ga promatrati iz perspektive regionalne valoracije najviše istraženog geotermalnog područja Hrvatske, panonskog bazena.

Njegov potencijal leži u pogodnoj kombinaciji geotermičkih značajki područja s vrijednostima geotermičkih gradijenata većim od $50 \text{ }^\circ\text{C km}^{-1}$; gustoćom toplinskog tijeka prema površini većoj od 80 mWm^{-2} i geotermalnih rezervoara i pukotinskih sistema s pokrovom terciarnih stijena. Na tom prostoru od preko 26000 km^2 pretpos-

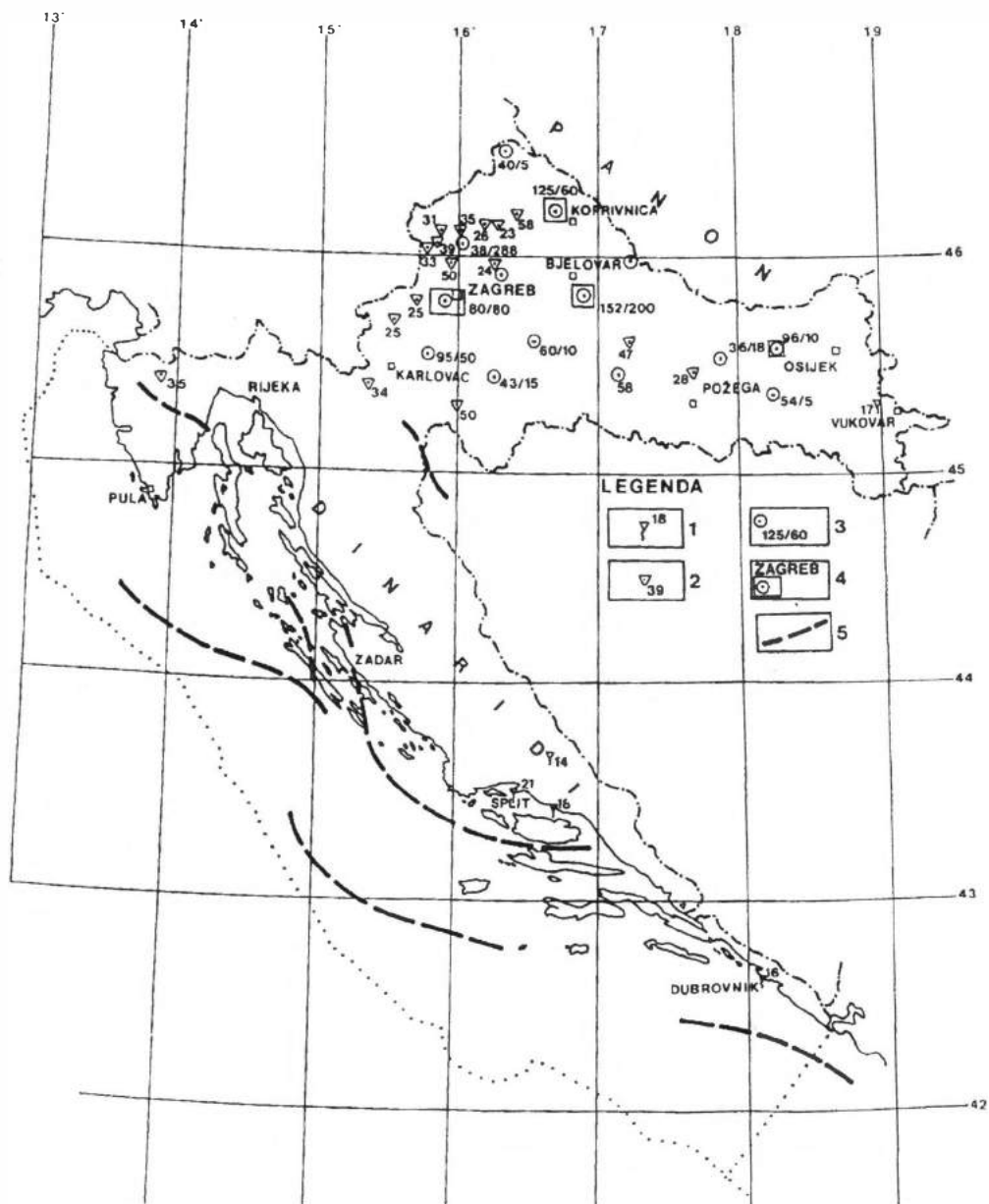
tavlja se rasprostranjenost predtercijarnih rezervoara na 20%, a tercijarnih geotermalnih rezervoara na 30% prostora.

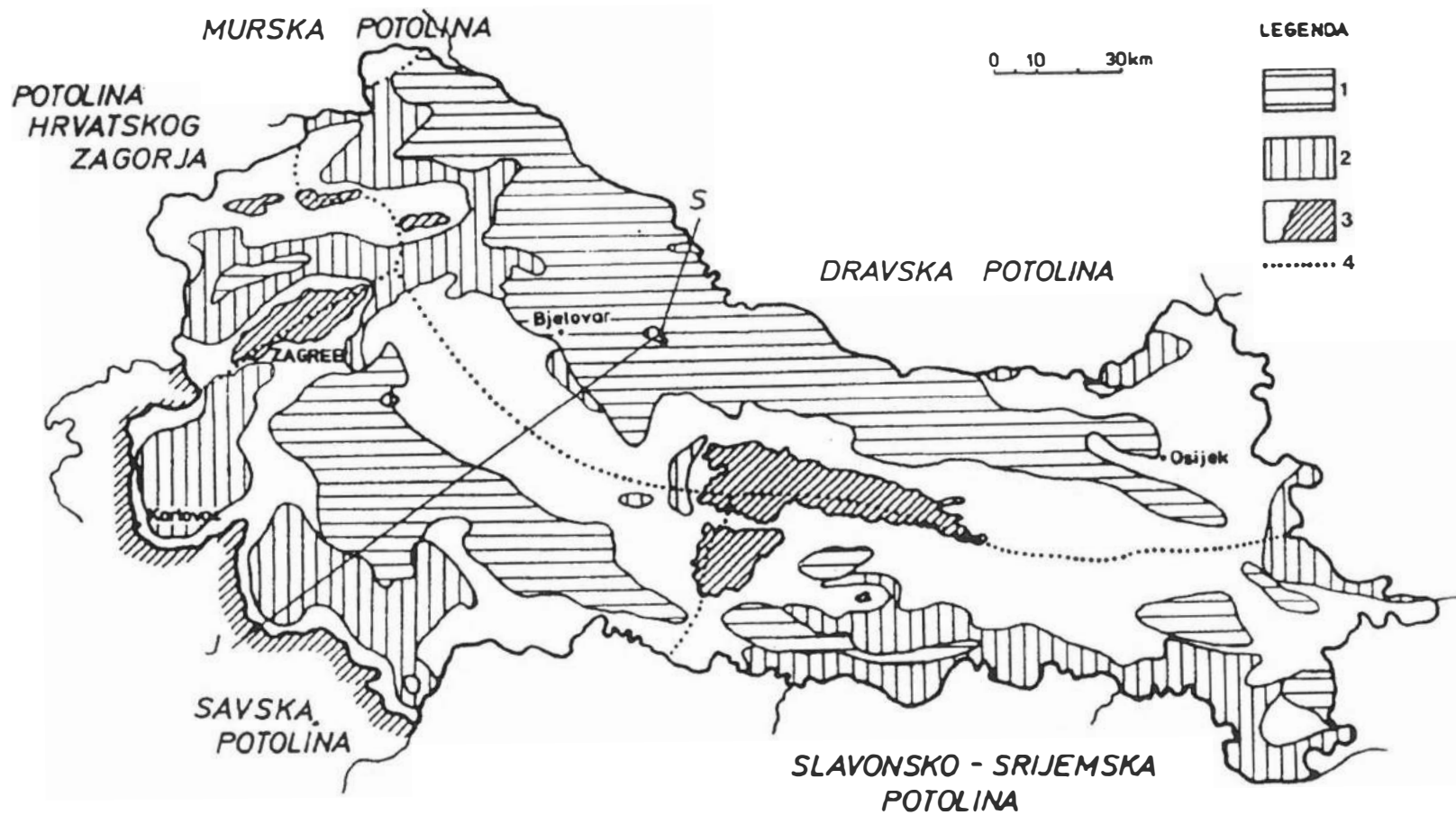
Današnja dokazana toplinska snaga preko 200MWt kod Bjelovara, Koprivnice, Zagreba i Osijeka predstavlja malen, ali indikativni dio ukupnoga geotermalnog potencijala Hrvatske.

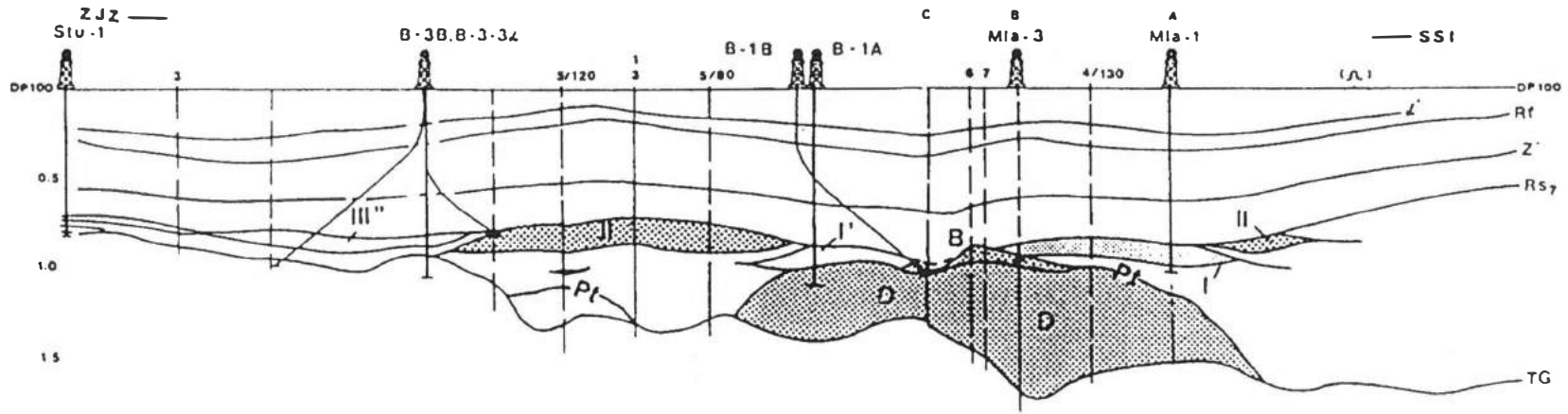
Uz predložena metodološke načela i iskustva, ovo je pravo mjesto i trenutak da se pridaju nove dimenzije razvitku hidrogeotermalnog potencijala Hrvatske i upravljaju njime.

Literatura

1. Čubrić, S.: O znanstvenim temeljima prijedloga pravilnika o kategorizaciji i klasifikaciji i zaliha geotermijske energije u Republici Hrvatskoj, DIT-Naftapin, Zagreb, br.31., 1992.
2. Čubrić, S.: Obnovljiva geotermijska energija i njen utjecaj na ekonomiku proizvodnje na nekim ležištima u Hrvatskoj, Disertacija RGN fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 1987.
3. Gringarten A. C., Sauty, J. P.: The Effect of ReInjection on the Temperature of a Geothermal Reservoir Used For Urban Heating, Proceedings II UN Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco, 1975., Vol.2. 1370-1375.
4. Hurtig E. et al: Geothermal Atlas of Europe, Herman Hook, Verlagsgesellschaft mbH, Gotha, 1992.
5. Kolbah, S.: Geotermičke značajke jugozapadnog dijela Panonskog bazena, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 1976.
6. Kolbah, S.: Prilog geološkim istraživanjima geotermalnog potencijala Republike Hrvatske, 14.Simpozij DIT, Istraživanje, razrada i proizvodnja ugljikovodika, Zagreb, 1995.







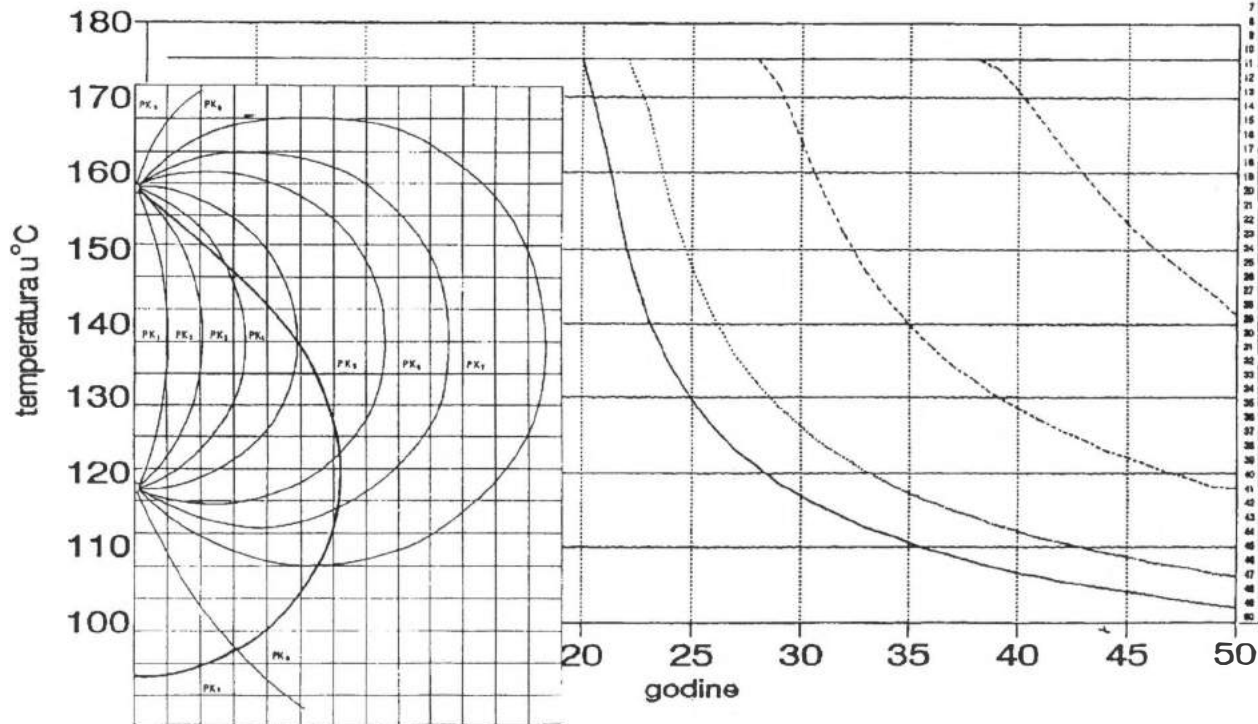
PK - PROPUSNI KANAL

— FRONTE UTISKIVANJA U TREMNUTKU
PRODORA U PROIZVODNU BUŠOTINU

— STRUJNICA

PROMJENA T_0 /PROTOČNIM KANALIMA

— PK1 — PK2 - - - - - PK3 - - - - - PK4 — PK5,6,7,8,9



Prosjek kanal	PK	n	1	2	3	4
Top.Vod.Biljege	L	mmK	2.428,4	2.428,4	2.428,4	2.428,4
Pres.Preg.Vodna	H	mm	80	80	82	85
Obuj.Sjec.Top.Lul	D	10 ³ mm ³	2,88972	2,88972	2,88972	2,88972
Obuj.Sjec.Top.Vod	Ob	10 ³ mm ³	4,10816	4,10816	4,10816	4,10816
Obuj.Prosjec.Voda	Ob	mm ³ 10-9	7280	7280	7280	7280
Površina PK/2	A	mm	171.260	164.800	164.800	164.400
Temp.Ladna.Voda	T ₀	°C	176	176	176	176
Temp.Ladna.Voda	T ₀	°C	80	80	80	80
Temp.kanal. To	T ₀	god	30	32	34	36

1	176,00	176,00	176,00	176,00
2	176,00	176,00	176,00	176,00
3	176,00	176,00	176,00	176,00
4	176,00	176,00	176,00	176,00
5	176,00	176,00	176,00	176,00
6	176,00	176,00	176,00	176,00
7	176,00	176,00	176,00	176,00
8	176,00	176,00	176,00	176,00
9	176,00	176,00	176,00	176,00
10	176,00	176,00	176,00	176,00
11	176,00	176,00	176,00	176,00
12	176,00	176,00	176,00	176,00
13	176,00	176,00	176,00	176,00
14	176,00	176,00	176,00	176,00
15	176,00	176,00	176,00	176,00
16	176,00	176,00	176,00	176,00
17	176,00	176,00	176,00	176,00
18	176,00	176,00	176,00	176,00
19	176,00	176,00	176,00	176,00
20	176,00	176,00	176,00	176,00
21	169,96	176,00	176,00	176,00
22	150,01	176,00	176,00	176,00
23	140,88	168,37	176,00	176,00
24	134,64	160,40	176,00	176,00
25	128,91	147,87	176,00	176,00
26	124,32	141,00	176,00	176,00
27	120,34	130,88	176,00	176,00
28	116,77	121,13	176,00	176,00
29	113,67	112,80	171,26	176,00
30	111,07	104,80	164,28	176,00
31	108,90	100,10	157,80	176,00
32	107,01	95,81	151,84	176,00
33	105,37	91,87	146,34	176,00
34	103,96	88,22	141,30	176,00
35	102,76	84,81	136,70	176,00
36	101,74	81,60	132,50	176,00
37	100,88	78,65	128,56	176,00
38	100,15	75,93	124,85	176,00
39	99,53	73,41	121,33	176,00
40	99,00	71,05	118,00	176,00
41	98,55	68,81	114,84	167,11
42	98,18	66,68	111,80	162,29
43	97,88	64,64	108,88	158,00
44	97,64	62,68	106,08	154,00
45	97,45	60,79	103,39	150,42
46	97,31	58,96	100,80	147,12
47	97,20	57,24	98,30	144,07
48	97,11	55,61	95,88	141,20
49	97,04	54,06	93,54	138,50
50	97,00	52,58	91,26	136,00

Tema 5.
EKSTREMNE HIDROLOŠKE
PRILIKE





1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Mijo Vranješ, Damir Vidoš

R 5-01

Obrana od poplava područja Jerkovac

SAŽETAK: *Ubrzanom izgradnjom zadnjih desetljeća grad Metković proširio se na desnu obalu rijeke Neretve u područje Jerkovac, koje je izloženo izravnu utjecaju rijeke. Zbog opasnosti od čestoga poplavlivanja potrebno je riješiti zaštitu urbanoga prostora. Područje Vid-Norin kojega je sastavni dio i Jerkovac planira se meliorirati i urediti u okviru cjelokupnog uređenja Donje Neretve. Glavna je komunikacija velikih voda iz rijeke prema Jerkovcu u vodotok Norin.*

Osnovni je zadatak riješiti obranu od velikih voda rijeke Neretve i unutrašnjih voda koje dolaze iz izvorišta po rubu područja. Tečenje za vrijeme velikih voda izrazito je nestacionarno i pod utjecajem je uzvodno izgrađenih akumulacija i hidroelektrana, a na nizvodnom je rubu utjecaj mora koji se pruža uzvodno sve do Metkovića. U tako složenim uvjetima tečenja primijenjen je matematički model zasnovan na potpunim hidrodinamičkim jednadžbama. Na osnovi izmjerenih vrijednosti provedena je kalibracija parametara, nakon čega je provedena analiza za valove iz više hidroloških razdoblja. Rezultatima proračuna pokazano je da stanje vodostaja u rijeci Neretvi ima velik utjecaj na stupanj plavljenja područja Vid-Norin i da je parcijalnu trajnu obranu od poplava Jerkovca izgradnjom samo nasipa neracionalno ili gotovo nemoguće provoditi, nego rješenje treba tražiti u okviru cjelokupnoga melioracijskog uređenja.

KLJUČNE RIJEČI: *obrana od poplava, nestacionarno tečenje, matematički model, Neretva*

Flood Protection of the Jerkovac Area

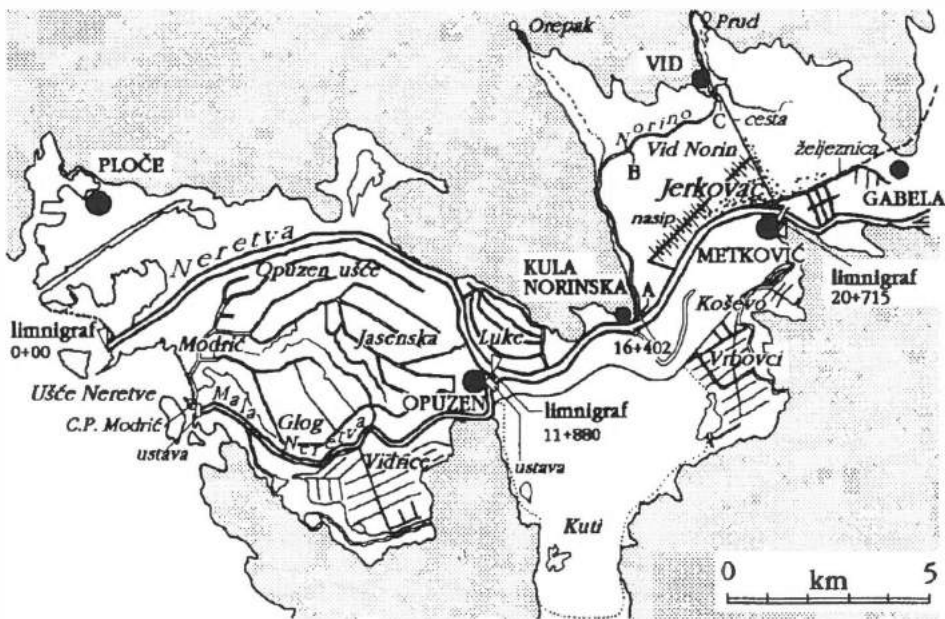
ABSTRACT: *By its accelerated construction during the last decades the town of Metković expanded on the right bank of the Neretva River, to the Jerkovac area which is directly exposed to the impact of the river. The urban areas should be protected against the risk of frequent flooding. The Vid-Norin area, which includes Jerkovac, is planned for reclamation and development within the integrated development of the Lower Neretva region. The main flood water communication from the river to Jerkovac is by the Norin streamflow.*

The basic task is to resolve the flood control of the Neretva River and the inland waters flowing in from the springs in the peripheral area. During the floods, the flow is particularly non-stationary and affected by the reservoirs and hydroelectric power plants built upstream. The downstream end is affected by the sea and this effect is felt upstream to Metković. For these complex flow conditions a mathematical model was used based on hydrodynamic equations. The parameters are calibrated on the basis of the measured values, and the analysis conducted for the waves from several hydrological periods. The calculation results have shown that the Neretva River water level considerably affects the extent of flooding of the Vid-Norin area. The partial and permanent flood control focused on Jerkovac and realized by construction of an dike only would be uneconomical or even impossible to implement. The solution should rather be sought within the integrated reclamation scheme.

KEY WORDS: *flood protection, non-stationary flow, mathematical model, the Neretva River*

1. Uvod

Regulacija rijeke Neretve na području Donje Neretve od Metkovića do ušća u more završena je krajem prošloga stoljeća, čime je osiguran plovni put do luke u Metkoviću. Osim za potrebe plovnosti korito je rijeke regulirano i prema postavljenim kriterijima obrane od poplava. Osnovni koncept obrane od poplava izgradnja je obrambenih nasipa uz Neretvu i Malu Neretvu i izgradnja obodnih kanala uz rubove brdskoga masiva i rubove zavala s usmjeravanjem povremenoga povodnja s vlastitoga sliva u korito rijeke. Na Maloj Neretvi u Opuzenu i na ušću u more izgrađene su ustave za regulaciju protoka velikih voda i za sprečavanje ulaska slane morske vode u korito rijeke, bilo kroz ušće ili iz Neretve u kojoj je voda zaslanjena sve do Metkovića. Ranije su u nasipima ostavljeni otvori za kolmaciju močvarnoga dijela zaobalnoga područja, koji su sad zatvoreni regulacijskim ustavama. Duž korita Male Neretve unutar nasipa ostavljeni su inundacijski prostori za osiguranje protočnosti. Nasipi obrane od poplava najvećim su dijelom kasnije pretvoreni u prometnice, na lijevoj je obali cesta, a na desnoj željeznička pruga i cesta. Ovako uređeni nasipi služe za obranu od poplava svih izgrađenih površina na području Donje Neretve, a naročito Metkovića i Opuzena. Ranije izrađenim prostornim planovima određena su područja buduće gradnje. Međutim, stvarna ja izgradnja dobrim dijelom izašla izvan zacrtanih okvira. Tako se Metković, koji je izgrađen na lijevoj obali rijeke Neretve, naglo počeo izgrađivati i na drugoj obali, posebno u dijelu Jerkovca (slika 1).



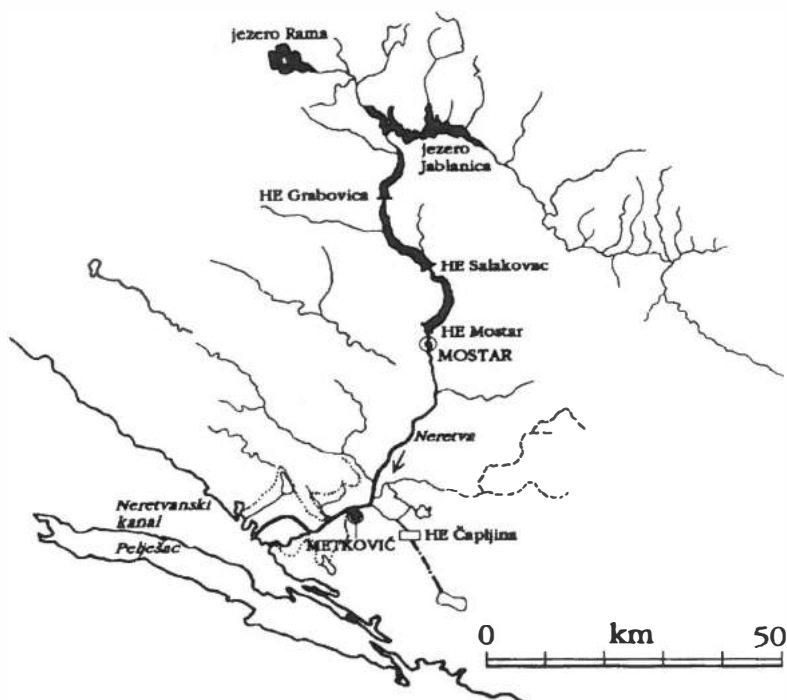
Sl. 1. Područje Donje Neretve i položaj Jerkovca

Kako se taj dio nalazi u melioracijskom području Vid-Norin s naglašenim problemima obrane od velike vode koje se namjerava urediti u sljedećem planskom razdoblju, postavlja se pitanje na koji način se sada može zaštititi urbano područje Metkovića, Jerkovac. Svakako da se prema planu buduće odvodnje cijele kazete Vid-Norin rješava i taj problem. Međutim, sad je nužno do konačne izgradnje i uređenja cijele kazete pronaći odgovarajuću privremenu zaštitu izgrađenih objekata, uglavnom stambenih u vlasništvu građana. To se planira postići izgradnjom privremenoga nasipa. Može se reći da je promatrano područje većim dijelom zaštićeno od

direktnog utjecaja velike vode iz rijeke Neretve izgrađenim nasipom na desnoj obali po kojem ide željeznička pruga i cesta. Utjecaj režima tečenja u rijeci Neretvi pronosi se jedino kroz ušće pritoka Norino, koji teče od izvora Prud uglavnom kroz močvarni dio kazete Vid-Norin, prihvaćajući i nešto vode s izvorišta Orepak. Upravo u skladu s ovakvom hidrografskom situacijom postavljeno je konačno rješenje uređenja kazete, tako da se predviđa izgradnja nasipa uz prtok Norino s južne strane (po lijevoj obali) sve do ceste Metković-Vid, ostavljajući sjeverni dio pod direktnim utjecajem Neretve, koji je i inače predviđen za ornitološko-ihtiološki rezervat. Unutrašnje vode tako zaštićene kazete predviđa se za vrijeme visokih vodostaja u rijeci prebacivati crpkama u Norino, a pri niskim vodostajima otjecanje bi bilo slobodno gravitacijom. Na dijelu od Metkovića do ušća u rijeci Neretvi izrađen je Plan za obranu od poplava u kojem su određene mjerodavne kote obrane.

2. Podloge

Osnovni istražni radovi izrađeni su još u sklopu FAO projekta (hidrologija, osnovne pedološke karakteristike, batimetrija, obrana od poplava i vodni resursi) i kasnije u studijama [8 i 9]. U toj dokumentaciji provedeni su pojednostavljeni hidraulički i hidrološki proračuni uz pretpostavku kvazistacionarnoga tečenja u rijeci Neretvi. Međutim, tečenje u rijeci za vrijeme velikih voda izrazito je nestacionarno. Zato su neophodni dobri zapisi velikih vodnih valova u dužem razdoblju, pri različitim uvjetima izgrađenosti u slivnom području. Nažalost, za područje Donje Neretve nema detaljno obrađena dužega niza velikih vodnih valova iz čega bi se moglo odrediti mjerodavni parametri za obranu od poplava. Vrlo je važno sagledati vremenski slijed izgradnje većih hidrotehničkih i hidroenergetskih sustava u slivnom području (slika 2), te njihov utjecaj na režim tečenja u rijeci Neretvi.



Sl. 2. Slivno područje rijeke Neretve s izgrađenim sustavima

Očito je da se upravo zbog različita stupnja izgrađenosti zabilježeni podaci ne mogu jednostavno svrstati u jedinstven niz. Osim dosad izgrađenih akumulacija i hidroelektrana u planu je još nekoliko sa značajno velikim akumulacijskim prostorom, pa će time i veliki vodni valovi biti pod većom kontrolom s većim stupnjem upravljanja protocima u rijeci Neretvi. Na režim tečenja u rijeci znatna utjecaja imali su i radovi u koritu (regulacija i vađenje pijeska) čime je povećan profil i protočna sposobnost. S druge strane, zatvaranje izlivanja vode Neretve u zaobalno područje režim se velikih voda pogoršava. Veliki vodni val nastaje nakon dugotrajnih kiša ili zbog većih poremećaja u radu hidroelektrana. Iz protekloga razdoblja postoje zapisi nekih karakterističnih poplavnih valova. Najveći je hidrološki obrađeni val od početka mjerenja 1923. godine bio od 07. do 28. prosinca 1950. godine. Dugoga je trajanja i tada je očitan najviši vodostaj u Metkoviću od +4.45 m n.m. U to vrijeme praktično nije bilo ni jedne izgrađene hidroelektrane na Neretvi. Jablanica je bila u gradnji. Iz razdoblja 1952. i 1953. godine postoji nekoliko valova, te val iz 1959. godine s utjecajem jezera Jablanica. Na zabilježene valove iz 1963. i 1964. godine imalo je utjecaja i jezero Rama. U današnjim uvjetima izgrađenosti s utjecajem svih izgrađenih objekata (Rama, Jablanica, Grabovica, Salakovac, Mostar I i HE Čapljinca) posljedni zabilježen i obrađen poplavni val je od 15. do 27. studenog 1991. godine. Sve hidroelektrane radile su usklađeno kako bi se što više ublažio val. Najveći vodostaj u Metkoviću iznosio je +3.55 m n.m. Pri prolasku vala rijekom Neretvom od Metkovića do ušća u more nije bilo nikakva kontrolirana ili nekontrolirana izlivanja u zaobalje, osim što je kroz ušće Norina dio vode prodirao u područje Vid-Norin. Ustave na Maloj Neretvi cijelo su vrijeme bile zatvorene.

Osim utjecaja Neretve na promatrano područje djeluje i dotok s vlastitoga dijela sliva uglavnom kroz vrela na sjevernom rubu od kojih je najizdašniji Prud. Na tom izvoru izvršeno je 25 mjerenja u razdoblju od 1953. do 1990. godine.

Uz ta dva najznačajnija utjecaja potrebno je uzeti u obzir i promjenu razine mora, jer je usporo djelovanje značajno, sve do Metkovića.

Geometrija korita određena je na osnovi snimljenih profila rijeke 1989. godine za potrebe kontrole vađenja pijeska, od ušća do Kule Norinske na svakih 500 m i dalje do Metkovića na razmaku 200 do 250, a iz osnovne državne karte 1:5000 određena je geometrija područja Vid-Norin i inundacijskog prostora Neretve unutar obrambenih nasipa. Korito rijeke velike je dubine, odnosno more stvara veliki uspor toka.

3. Proračun nestacionarnog tečenja u promatranu području

U prirodnim koritima i širokim prostorima, kao što je to slučaj s izabranim područjem od ušća Neretve do Metkovića, tečenje velikih poplavnih voda s naglašenom nestacionarnošću složena je pojava, te zahtijeva u proračunu primjenu odgovarajuće metode, odnosno modela. U ovom slučaju primjena klasičnih proračuna na osnovi ranije zabilježenih vrijednosti vodostaja i protoka ili nekih pojednostavljenih modela, npr. Muskingum, bila bi pogreška. Kod ovako složena tečenja struktura modela mora odgovarati prirodi toka (pojave). Zato je u proračunu korišten model zasnovan na potpunim hidrodinamičkim jednadžbama koje dobro opisuju nestacionarno tečenje sa slobodnim vodnim licem u prirodnim koritima složene geometrije (glavno korito i inundacije). Budući da je tečenje dominantno u jednom smjeru koristi se jednodimenzionalni model, detaljnije prikazan u radovima [4, 5, 6, 7]. Primjenom osnovnoga zakona održanja ekstenzivnoga polja u izdvojenom komadu (dijelu) kontinuuma na masu i na količinu gibanja, dobiju se dvije parcijalne diferencijalne jednadžbe drugoga reda hiperboličkoga tipa poznate kao:

– jednadžba kontinuiteta

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A_t}{\partial t} = q - f \quad (1)$$

– dinamička jednadžba

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{f_1(h)} \right) + g A_a \frac{\partial y}{\partial x} + g \left(A_a \frac{\partial z_0}{\partial x} + \frac{Q|Q|}{f_2(h)} \right) = qv \cos \vartheta \quad (2)$$

gdje je:

x - smjer toka, Q - ukupni protok [m^3/s], q - distribuirani bočni dotok [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$],

f - infiltracija duž toka [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$], A_t - ukupna površina poprečnog presjeka [m^2],

A_a - aktivni dio poprečnog presjeka [m^2], v - srednja brzina toka [m/s],

$f_1(h)$ - funkcija raspodjele količine gibanja u složenom poprečnom presjeku,

$f_2(h)$ - funkcija otpora tečenju u složenom poprečnom presjeku,

ϑ - kut dolaska bočnoga dotoka na osnovni tok

Jednadžbe (1) i (2) integriraju se numerički. Slično načelima izbora modela postupa se i pri izboru odgovarajuće numeričke metode. Na osnovi kriterija točnosti, stabilnosti i efikasnosti odabrana je metoda konačnih elemenata, koja npr. u odnosu na metodu konačnih razlika ima dobra svojstva što se kod nje funkcije integriraju, a to je znatno povoljnije i numerički stabilnije od diferenciranja. Osim toga, ova metoda omogućava izbor većih vremenskih intervala za integraciju po vremenu, što kod nekih metoda konačnih razlika nije moguće zbog uvjeta numeričke stabilnosti. Ovo je značajno kada se računaju valovi dugoga trajanja. Dobra su svojstva navedene metode potvrđena na više primjera.

3.1. Izbor poprečnih presjeka

Uvažavajući neprizmatičnost korita rijeke i zaobalja te koristeći funkcije $f_1(h)$ i $f_2(h)$ izabiru se reprezentativni poprečni presjeci, čime se vrši podjela na elemente. Tako je u rijeci Neretvi od ušća do Metkovića odabrano 54 i u području Vid-Norin od ušća Norina do Gabele 28 poprečnih presjeka. Pri izboru najvažnije je što točnije zadati volumetriju vodotoka. Označavanjem elemenata i profila (čvorova) dobivena je topološka shema s 81 čvorom i 80 elemenata.

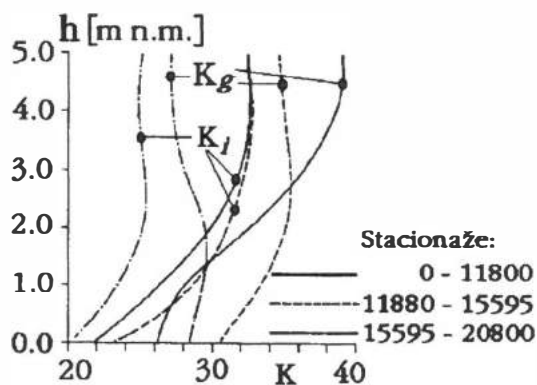
3.2. Rubne vrijednosti

Na ušću Neretve zadavane su izmjerene vrijednosti morske razine, u ulaznom profilu Metković zadavan je izmjereni nivogram, a na mjestima vrela Prud i Orepak ulazni hidrogrami. U profilu Metković bilo bi bolje zadavati ulazni hidrogram. Međutim, kako u tom mjernom profilu protočna krivulja nije jednoznačna, nemoguće je točno preko izmjerenih vodostaja odrediti protoke. Ipak izabrani model prihvaća nivograme na nizvodnom i uzvodnom rubu Neretve.

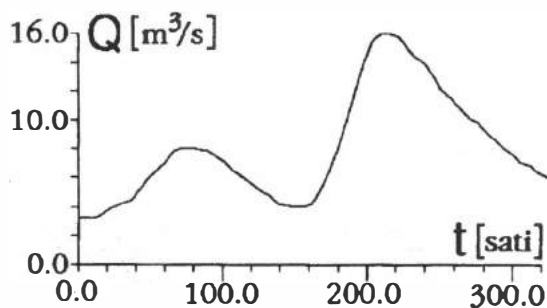
3.3. Kalibracija

Na ušću Neretve, u Opuzenu i na mostu u Metkoviću postoji limnigraf s kontinuiranim zapisom razine. U profilu Kula Norinska vodostaji se mjere letvom. Unutar područja Vid-Norin nema mjerenja vodostaja. Od ranije navedenih poplavnih valova

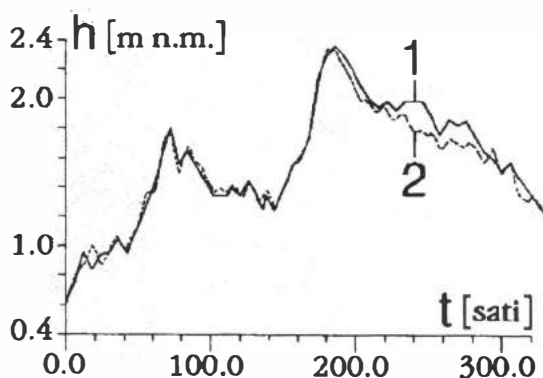
odabran je val iz 1991. godine za koji ima najviše izmjerenih podataka i najviše odgovara trenutnoj geometriji korita, što je izuzetno važno uskladiti, jer svi podaci moraju biti iz istoga ili bliskoga vremenskog razdoblja. Rubne vrijednosti za vodostaje na nizvodnom i uzvodnom rubu Neretve uz vodostaje u još nekim profilima Neretve vide se na slici 6, a dotok u područje Vid-Norin na slici 4. Kalibracija se provodi postupkom izbora Stricklerovih koeficijenat K_g za glavno korito i K_i za inundacije uz usporedbu izmjerenih i izračunatih vodostaja u Opuzenu kao na slici 5. Usvojene vrijednosti koeficijenata po dijelovima rijeke Neretve prikazane su na slici 3. Protoci u



Sl. 3. Stricklerovi koeficijenti



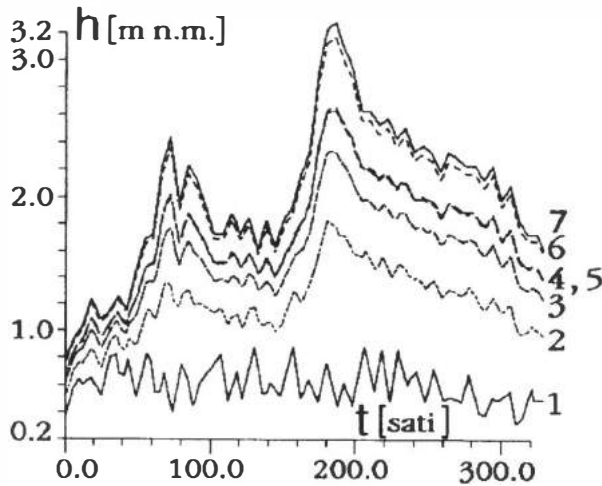
Sl. 4. Dotok iz izvora u područje Vid-Norin



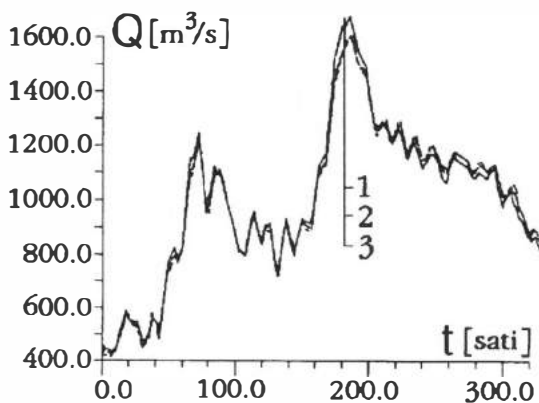
Sl. 5. Vodostaji u profilu Opuzen; 1- izmjereno, 2- izračunato

Neretvi prikazani su na slici 7. U području Vid-Norin vodostaji se formiraju zbog dotoka iz Neretve kroz ušće Norina i poradi dotoka s vlastitog sliva. Rezultati proračuna nacrtani su na slici 8. Na slici 9. nacrtani su protoci u tom području. Negativne vrijednosti znače da voda iz Neretve kroz ušće Norina ulazi u područje. Nestacionarnost toka i utjecaj promjene razine mora dobro se uočava u nacrtanim protočnim krivuljama za rijeku Neretvu na slici 10.

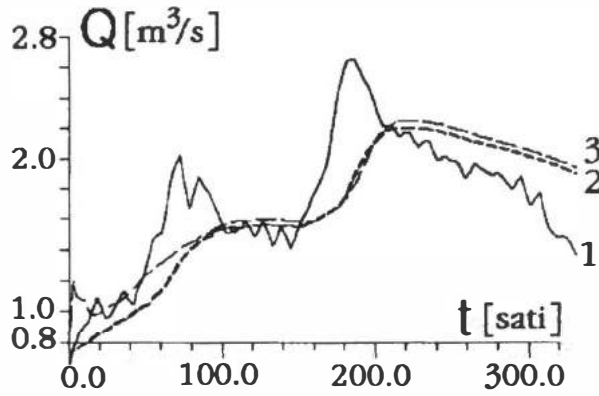
Nakon kalibracije nužno je provesti verifikaciju modela na zabilježenim podacima velike vode iz nekoga drugog razdoblja. U ovom slučaju taj dio zadatka nije bilo moguće kvalitetno uraditi, jer su za neki val iz ranijega razdoblja upitni podaci geometrije korita kojih nema. Pretpostavljajući da su parametri modela za sadašnju geometriju korita ispravni, proveden je proračun uz rubne vrijednosti svih ranije navedenih poplavnih valova. Kako se tipovi tih valova razlikuju po intenzitetu i po trajanju stekao se solidan uvid u prirodu tečenja na promatranom području.



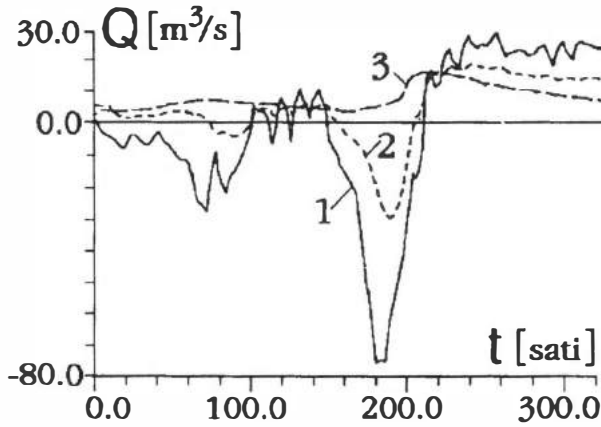
Sl. 6. Vodostaji u rijeci Neretvi; 1-ušće, 2-Komin, 3-Opuzen, 4-Kula Norinska, 5-ušće Norina, 6-stacionaža 19+432, 7- Metković



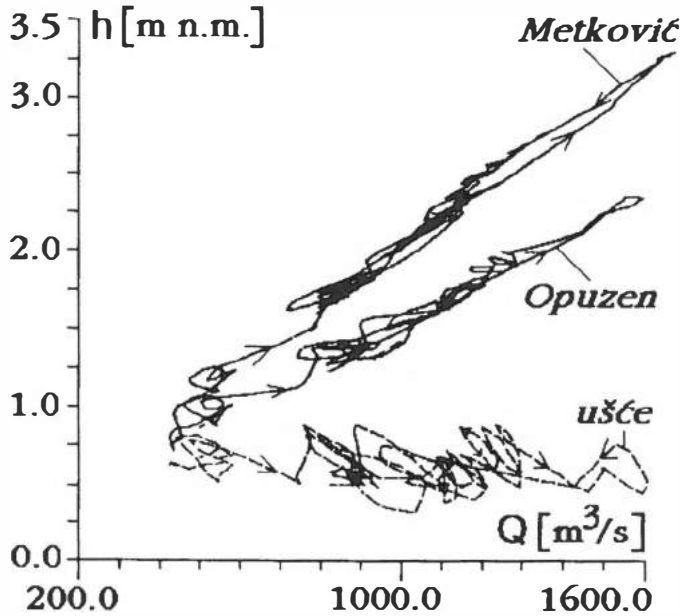
Sl. 7. Protoci u rijeci Neretvi; 1-Metković, 2-Opuzen, 3-ušće



Sl. 8. Vodostaji u području Vid-Norin; 1-ušće Norina(profil A), 2-profil B, 3-profil C



Sl. 9. Protoci u Području Vid-Norin; 1-ušće Norina (profil A), 2-profil B, 3-profil C



Sl. 10. Protočne krivulje u Neretvi

4. Zaključci

Zbog ranije navedenih razloga, nedovoljno sistematiziranih i obrađenih zabilježenih poplavnih valova za potrebe određivanja stupnja obrane od poplava, nema čvrstih parametara. Nema jasno definiranih poplavnih voda koje se pojavljuju jedanput ili dvaput u 100 godina, a to su vode od kojih se prema pravilu štite urbana područja. Promatrano područje Jerkovac uzduž rijeke zaštićeno je dovoljno visokim nasipom po kojemu ide željeznička pruga. S istočne je strane cesta kojoj je kota u najnižem dijelu +2.70, a prema Vidu +3.90 m n.m. Kako je rješenje obrane Jerkovca privremenog karaktera treba ga prilagoditi i postojećim objektima, dakle koti ceste. U protivnom trebalo bi raditi rekonstrukciju prometnice i nasip izgraditi do kote +4.5 m n.m. s produženjem nasipa u Hercegovinu sve do Gabele. To bi značilo izgraditi relativno visoki nasip ukupne dužine oko 7 km. Očito se radi o neracionalnu rješenju, jer se konačnim uređenjem kazete ovaj problem automatski rješava. Zato se predlaže izgraditi nešto niži nasip od ušća Norina do ceste Metković-Vid s kotom 3.06 m n.m. koja je određena kotom 10-godišnje vode na ušću Norina. Na ovaj način obrane povećan je rizik poplavlivanja Jerkovca s odgovarajućim štetama, što nije uobičajeno, pa bi rješenje bilo opravdano samo ako bi se u najkraćem mogućem roku pristupilo konačnom uređenju kazete Vid-Norin.

U svemu je važno uočiti nedovoljno istražene hidrološko-hidrauličke procese tečenja na promatranom području pod utjecajem različita stupnja izgrađenosti u slivu Neretve. Dobiveni rezultati proračuna sasvim zorno ukazuju na složenost tečenja i na potrebu primjene odgovarajućih metoda i modela u analizama.

Literatura

1. Abbott, M.B., Cunge, J.A.: *Engineering applications of computational hydraulics*, Volume I, Pitman Publishing Ltd., 1982.
2. Conor, J.J., Brebbia, C.A.: *Finite element techniques for fluid flow*, Newnes-Butterwarths, London, 1976.
3. Cunge, J.A., Holly, F.M. and Verwey, A. : *Practical aspects of computational river hydraulics*, Pitman Publishing Ltd, London, 1980.
4. Jović, V. i Vranješ, M. : *Matematički model nestacionarnog tečenja u prirodnim koritima i kanalima*, X Savjetovanje Jugoslavenskog društva za hidraulička istraživanja, Sarajevo, 9. do 13. 10. 1990.
5. Vranješ, M. : *Rješenje nestacionarnog toka u mreži kanala i rijeka*, disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, siječanj 1992.
6. Vranješ, M. : *Distribution functions of momentum and flow resistance for 1-D unsteady flow in rivers*, International Journal for Engineering Modelling, Vol. 5, No. 1-2, pp 29-36, 1992., Građevinski fakultet Split i Zagreb
7. Vranješ, M. : *Modeliranje nestacionarnog tečenja u sustavima otvorenih korita*, Građevinar, 45, (1993) 8, pp 445-453
8. *Melioraciono područje Vid-Norin: zaštita od vanjskih voda, odvodnja i navodnjavanje-hidrološki istražni radovi*, Vodoprivreda BiH, Sarajevo 1989., br. 085/185
9. *Konačni izvještaj o velikim vodama na vodnom području u studenom 1991. godine*, JVP Hrvatska vodoprivreda-OJ Split, 1991.



Bogdan Lalić

R 5-02

Utjecaj klimatskih faktora na porast poplavnih valova

SAŽETAK: *U radu je prezentirana analiza većega broja visokovodnih situacija na slivu rijeke Savinje. Za pojedini visokovodni val obrađene su osnovne hidrološke karakteristike (vršni protok, volumen vala direktnoga (brzog) otjecaja, prosječna količina oborina (koja je na slivu uzrokovala visokovodni val), indeks prethodnih oborina). Prikazani su glavni činioci koji utječu na veličinu prosječnoga koeficijenta direktnoga otjecaja. Pokazalo se da indeks prethodnih oborina za sliv Savinje nije dobar pokazatelj početnoga hidrološkoga stanja (utjecaj prethodne vlažnosti) tako da predviđena analiza utjecaja prethodne vlažnosti ovisna o godišnjem dobu nije bila moguća. Najbolji rezultati (dobra korelativna veza između bruto oborina i porasta poplavnoga vala) dobiveni su uzimanjem u obzir početnog protoka (protoka prije početka porasta računatog poplavnoga vala).*

Na osnovi utvrđene dobre korelativne veze između porasta protoka poplavnoga vala i neto oborina, dobivene su dobre okvirne vrijednosti koje iskusnom hidrologu nude znatnu pomoć u izradi prognoze porasta poplavnoga vala na osnovi prognoziranih oborina.

KLJUČNE RIJEČI: *poplavni val, neto oborine, indeks prethodnih oborina.*

Influence of Climatic Factors on Flood Waves Raise

ABSTRACT: *Flood - discharge hydrographs, as well as the appertaining precipitations charts of the large number of flood situations on the river Savinja have been processed. Basic hydrologic characteristics of each flood wave (peak discharge, surface runoff volume, mean amount of precipitation (which have been the cause of the flood wave), antecedent precipitation index), have been determined. The vital factors influencing the average range of the direct surface runoff coefficient have been accounted for. It's become evident that for Savinja basin antecedent precipitation index is not the best indicator for the initial hydrological condition (state of wetness of the soil at the start of rainfall). The selective demonstration shoving the influence of the former state of wetness, as to the seasons, has thus been impossible. The best results (good correlation between the total storm rain and the flow increase) have been obtained while considering the initial flow.*

The good correlation between the flow increase and net storm rain has served for the determination of the range values, which are of great value to the experienced hydrologue, forecasting the peak discharge on the basis of the forecasted precipitation.

KEY WORDS: *flood wave, net rain, antecedent precipitation index*

1. Uvod

Rijeka Savinja, koje slivna površina u profilu vodomjerne stanice Laško iznosi 1663 km², izrazito je bujičan vodotok. Porast od vrlo niske vode (u donjem toku) na ekstremno visok protok može nastupiti u manje od 12 sati.

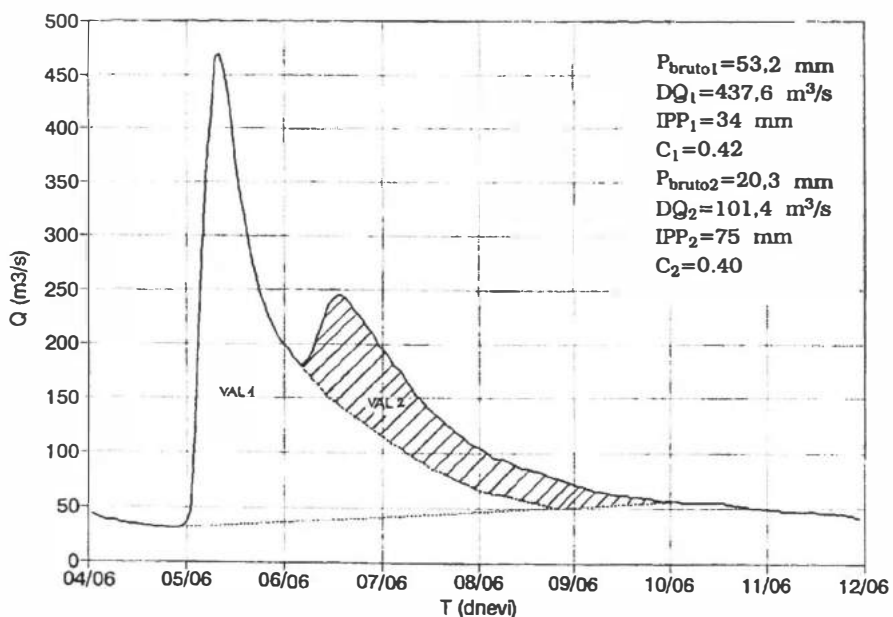
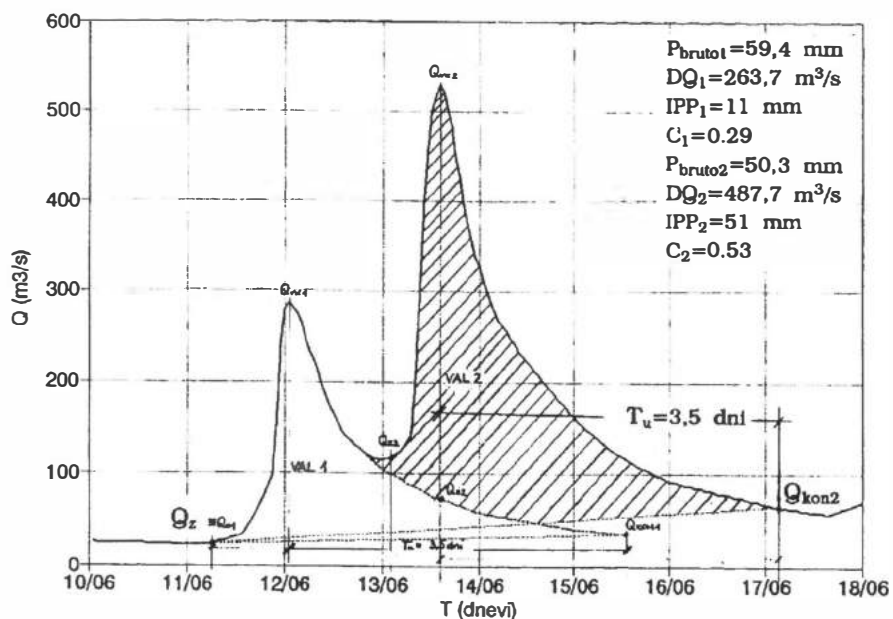
Cilj analize bila je obrada što većega broja visokovodnih situacija, te njihovo sortiranje prema sezoni godine (utjecaj retencije i evapotranspiracije) i prethodnoj namočenosti (deficit vlage u zemljištu). Predviđalo se, da će se pomoću tako sortiranih podataka analizirati utjecaj pojedinih komponenti, a dobivene rezultate upotrebiti u hidrološkoj prognostičkoj praksi. Nakon što se indeks predhodnih oborina (IPo) pokazao za sliv Savinje kao loš indikator početnoga hidrološkog stanja (utjecaj prethodne namočenosti), analiza utjecaja prethodne namočenosti ovisna o sezoni nije bila moguća.

U izabranom načinu obrade visokovodnih situacija izbjegnuta je problematika lošega poznavanja velikog broja karakteristika sliva, koje utječu na oblik porasta poplavnoga vala (geologija i pedologija sliva, topografske i agrokulturne karakteristike). Ti parametri su kod kompleksnih hidroloških modela, kojih su ulazni podaci satne vrijednosti, neophodno potreban podatak. Pošto se ti modeli umjeravaju na manjem broju primjera, velika je mogućnost da se radi loše ocijenjenih karakteristika sliva dobiju pogrešni rezultati o utjecaju klimatskih faktora na oblik hidrograma poplavnih valova.

2. Izbor i priprema podataka

U analizi je obrađen relativno kratak niz godina (1977 - 1990), jer su podaci o oborinama bili na računalu sakupljeni samo za taj period. Kako su većinu poplavnih valova uzrokovale oborine trajanja manje od 24 sata, analiza je bila ograničena na samo takve hidrološke situacije. Primjeri gde je porast poplavnoga vala uzrokovala dugotrajnija kiša (val je rastao sporije i s prekidima), bili su odvojeni. Isto važi za primjere gdje su zabilježene jednodnevne oborine uzrokovale sastavljen poplavni val (kvantitativna podjela takvih oborina na jednostavan je način nepouzdana, jer na čitavu slivu postoje samo dvije ombrografske stanice). Isto tako bile su odvojene situacije kad je došlo do topljenja sniježnoga pokrivača, odnosno kad su oborine, koje su uzrokovale porast poplavnoga vala, prešle u snijeg. Zadržani su samo oni valovi, kod kojih je vremenski prekid oborina bio malo duži (nastup više uzastopnih valova), pa se moglo zaključiti da su zabilježene jednodnevne oborine utjecale samo na pojedini val. Za takve primjere moguće je poplavni val sa zadovoljavajućom točnošću razdijeliti na dvije samostalne cjeline (slika 1). Od naročite je važnosti stoga mogućnost određenja oborina koje utječu na pojedini val.

Osnovni zahtjev bila je obrada što homogenijih podataka. Podjelom sastavljenih poplavnih valova na pojedine, dobiveni su međusobno dosta slični valovi koji vanjskim izgledom nalikuju hidrogramima koji bi bili dobiveni upotrebom teorije 24 satnog jediničnoga hidrograma. Pošto su bile situacije s naročito promjenljivim intenzitetom oborina (složeni val radi isprekidanih 24 satnih oborina) odvojene, postignuta je vrlo dobra kvalitativna sličnost. (Dobra kvantitativna sličnost bila bi dostignuta još i upotrebom bitno kraće satne jedinice (npr. jedan sat) jer mora po teoriji jediničnoga hidrograma u jediničnom vremenu pasti kiša jednakomernog neto intenziteta.)



Slika 1a, 1b. Složeni hidrogram poplavnoga vala, gdje je sekundarni val bitno veći (manji) od primarnog vala

Figure 1a, 1b. Combined flood hydrograph, where secondary wave is bigger (smaller) than the primary.

3. Izbor prognostičkoga modela i račun bitnih karakteristika poplavnih valova

Za prognoziranje otjecaja s nekog sliva potrebno je izabrati oblik prognostičkoga modela s optimalnim brojem glavnih parametara koji utječu na otjecaj. Jednaka količina oborina može naime uzrokovati sasvim različite otjecajne situacije. Zato je osnovni problem određenje gubitka bruto oborina. Taj gubitak može se odrediti na različite načine (deficit vlage zemljišta, infiltracija zemljišta, indeks predhodne vlažnosti zemljišta, indeks predhodnih oborina ...). Pritom je definiranje početnoga hidrološkog stanja, to jest stanja kad su počele intenzivnije oborine koje su uzrokovale jači porast poplavnih voda na određenom slivu, ključni problem.

Jednostavniji prognostički modeli pokušavaju odrediti neto (efektivne) oborine (volumen površinskoga (direktnog) otjecaja) pomoću četiri parametra (Jovanović, 1974, str. 87). Kod takvog modela neto kiša ovisi o sljedeća četiri parametra: prosječne oborine na slivu (bruto kiša (P_{bruto})), indeks prethodnih oborina (IPO), trajanje kiše (T_k) i sezona godine (N_s) (čime se u model uvodi utjecaj stanja vegetacije u slivu, kao i klimatskih karakteristika područja), što se može na kratko zapisati:

$$P_{neto} = f(P_{bruto}, IPO, T_k, N_s)$$

Pošto funkcijska ovisnost nije linearna, u praksi je česta primjena grafičke interpretacije međusobne povezanosti gore navedenih parametara.

Radi već spomenute činjenice da je bila većina poplavnih valova uzrokovana oborinama trajanja manjeg od 24 sata, parametar trajanja kiše (T_k) uzet je kao konstanta, dok su se svi rijetki primjeri gde je trajanje kiše bilo duže od 24 sata, kao što je već bilo spomenuto, odvojili.

Obradom podataka za istu sezonu ($N_s = konst.$), model se pojednostavnjuje jer ostane neto kiša ovisna još samo o dva parametra:

$$P_{neto} = f(P_{bruto}, IPO)$$

što vrlo pojednostavnjuje mogućnost grafičke interpretacije međusobne (trodimenzionalne) povezanosti.

3.1 Prosječna količina bruto oborina na slivu

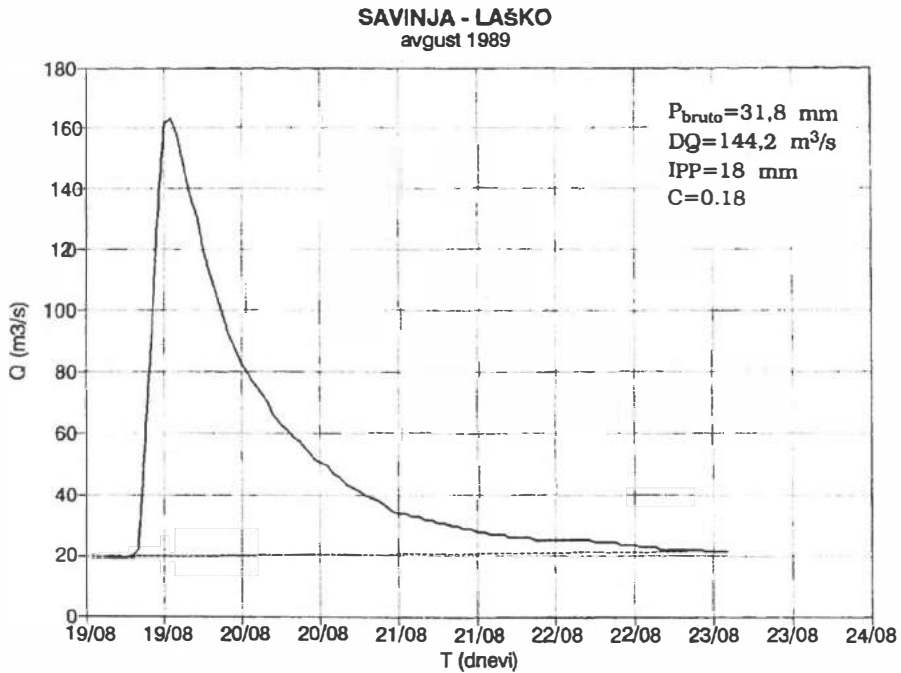
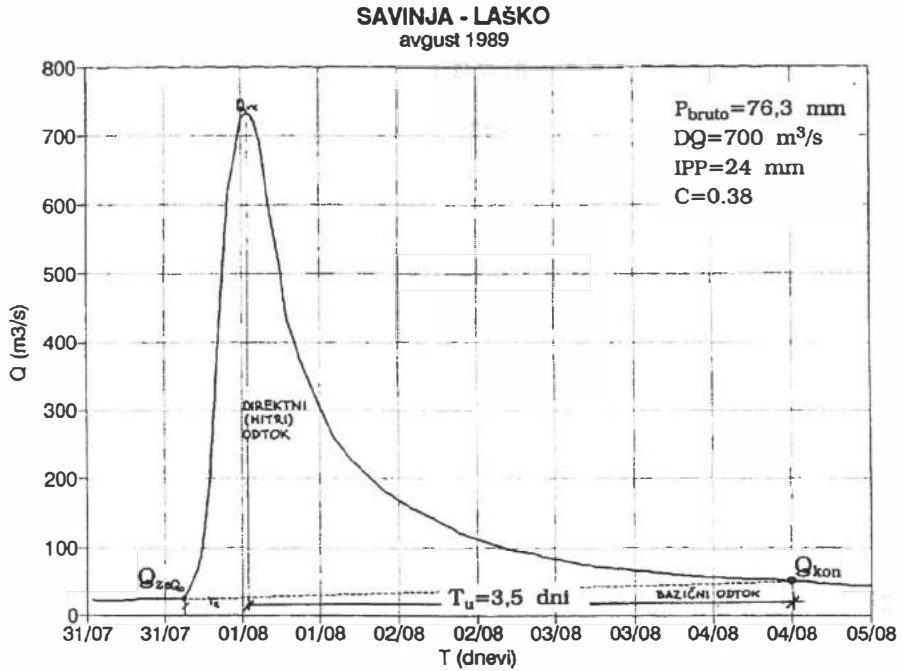
Radi obrade velikoga broja oborinskih situacija, za izračun prosječne količine bruto oborina na sliv uporabila se metoda Thiessenovih poligona koja je kod sličnih obrada najčešće primjenjivana. Kako je gustoća kišomjernih stanica na slivu Savinje dosta dobra, metoda ne daje bitno slabijih rezultata od točnije metode konstruiranih izohieta. Glavni nedostatak te metode je nedostatak kišomjernih stanica u višim predjelima, dok metoda sama ne uzima u obzir topografiju.

Trajanje kiše kod dvosmislenih situacija bilo je provjereno pregledom ombrografskih podataka, tako da su primjeri koji su odstupali od zauzetog stava, bili odvojeni.

3.2 Prosječna količina neto kiše na slivu

Neto kiša bila je preračunata iz hidrograma direktnoga otjecaja. Hidrogram cjelokupnoga otjecaja bio je podijeljen na dva dijela: hidrogram direktnoga (brzog) otjecaja (površinski otjecaj + brzi podpovršinski otjecaj) i hidrogram baznoga otjecaja (podzemni otjecaj + spori podpovršinski otjecaj). Vrijeme završetka direktnoga otjecaja određeno je pomoću grafa sa semilogaritmičkom podjelom.

Kod određivanja opadajućeg dijela hidrograma direktnoga otjecaja potrebno je bilo odvojiti sekundarni val (slika 1), koji je bio uzrokovan naknadnim oborinama. Pri



Slika 2a, 2b. Hidrogram poplavnoga vala s visokim i niskim vršnim protokom.
 Figure 2a, 2b. Flood hydrograph with high and low peak discharge.

određivanju upadajućega dijela hidrograma najveći je problem određivanje protoka (Q_{kon}) na kraju primarnoga poplavnoga vala, to jest baznoga protoka koji bi nastupio, ako nakon 24-satnih oborina koje su uzrokovale porast visoke vode ne bi nastupile naknadne oborine (do prekida površinskoga otjecaja). Svi ti protoci (Q_{kon}) bili su određeni pomoću dijagrama (rast bazičnoga otjecaja u ovisnosti o vršnome protoku poplavnoga vala (Q_{vk})) koji je bio konstruiran pomoću poplavnih valova, u kojih u vremenu T_u prije porasta poplavnoga vala i nakon njega nije bilo nikakvih oborina (slika 2).

3.3 Prosječni koeficijent direktnoga otjecaja (C)

Za svaki pojedini poplavni val izračunala se prosječna vrijednost koeficijenta direktnoga otjecaja (C). To je omjer između neto i bruto kiše. Analiza je pokazala da se njegova vrijednost naročito intenzivno mijenja u vrijeme porasta poplavnoga vala. Pokazalo se da na brži rast koeficijenta C bitno utječe jaka prethodna vlažnost terena (odnosno prethodne oborine), dok je utjecaj godišnjega doba (retencija vegetacije i evapotranspiracija) od mnogo manjega značaja. Još bi detaljnija obrada, koja bi uzela u obzir intenzitet oborina, omogućila analizu utjecaja prethodne vlažnosti na porast poplavnih valova, ovisno o sezoni.

3.4 Indeks prethodnih oborina (IPo)

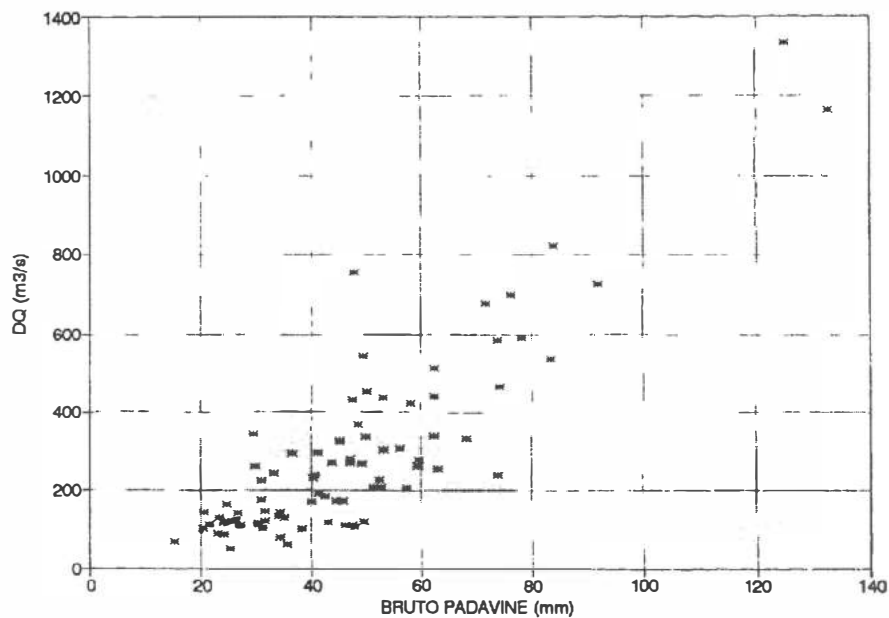
Indeks prethodnih oborina (IPo) izračunava se na osnovi kiša koje su bile 30-45 dana prije za koju se računa otjecaj. Najčešće se rabi sljedeća jednadžba:

$$IPo = \sum_{t=1}^N (K^t * P_t)$$

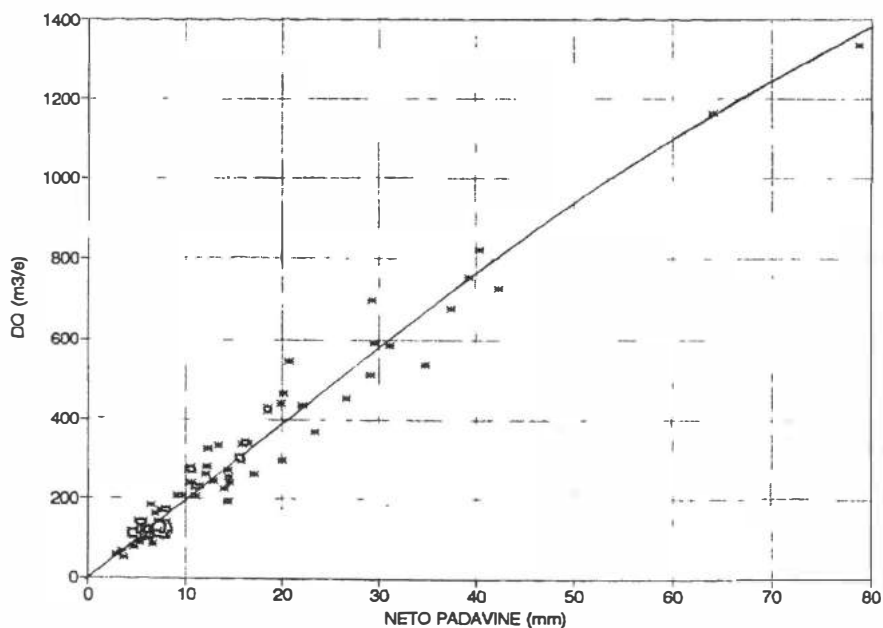
gdje znači P_t prosječnu 24-satnu bruto kišu koja je na sliv pala t dana pre kiše koja je uzrokovala porast promatranoga poplavnoga vala. Vrijednost K^t funkcija je vremena t . Konstanta K je funkcija fizičko geografskih, klimatskih i ostalih karakteristika sliva. Potrebno je ustanoviti optimalnu vrijednost konstante K koja se obično traži u rangu od 0.85 do 0.98. Utjecaj sezone može se uzeti u obzir tako da se tokom godine mijenja vrijednost konstante K . U prikazanom radu to nije imalo smisla jer se unatoč sortiranju poplavnih valova prema godišnjem dobu pokazalo da je za sliv Savinje IPo loš indikator početnog hidrološkoga stanja.

4. Opis rezultata i njihova uporabljivost

Koliko je značajno odrediti početno hidrološko stanje (prethodna vlažnost terena u određenoj sezoni godine) vidi se iz slike 3, gde je vidljivo, da jednaka količina bruto oborina može uzrokovati i preko 5 puta veći porast protoka poplavnoga vala DQ. Potrebna je svijest o tome da razlog za podatke na slici 3 nije samo početno hidrološko stanje, nego i utjecaj različitoga intenziteta obrađenih 24-satnih oborina koji nije bio analiziran. Da je utjecaj intenziteta prema utjecaju početnoga hidrološkoga stanja od sekundarnoga značenja, očigledno je iz slike 4, gdje je početno hidrološko stanje sakriveno u izračunatoj neto kiši. Prikazana međusobna ovisnost između porasta DQ i neto kiše mnogo je jača. Odstupanje stvarnoga porasta poplavnoga vala (DQ) pomoću regresijske krivulje (slika 4) "prognoziranog" porasta u prosjeku je 14% a najviše do 25%. Uz pretpostavku da su podaci točni može se to odstupanje pripisati različito raspoređenu intenzitetu obrađenih 24-satnih oborina. Iz dobivene regresijske krivulje (slika 4) može se također zaključiti da, kad Savinja u profilu Laško prijede 700 m³/s (prosječna visoka voda), uzvodno od profila dolazi do sve jačih



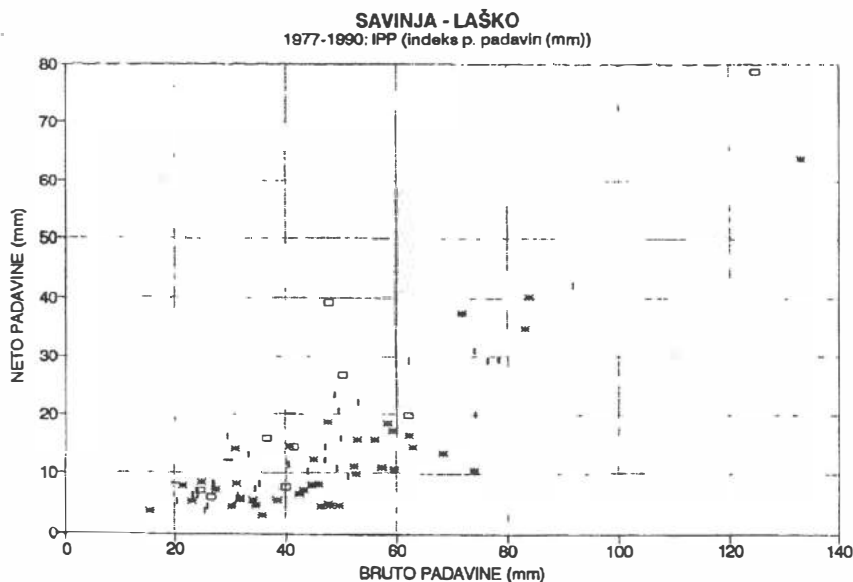
Slika 3. Korelativna veza između porasta protoka poplavnoga vala (DQ) i bruto kiše.
Figure 3. Correlation between rising of the flood discharge (DQ) and total rain.



Slika 4. Korelativna veza između porasta protoka poplavnoga vala (DQ) i neto kiše.
Figure 4. Correlation between rising of the flood discharge (DQ) and net rain.

razlijevanja. Na račun povećavanja poplavnih površina prelazi linearna korelativna veza (koja odgovara teoriji jediničnoga hidrograma) u nelinearnu (spljoštavanje vrha poplavnoga vala radi utjecaja retencije).

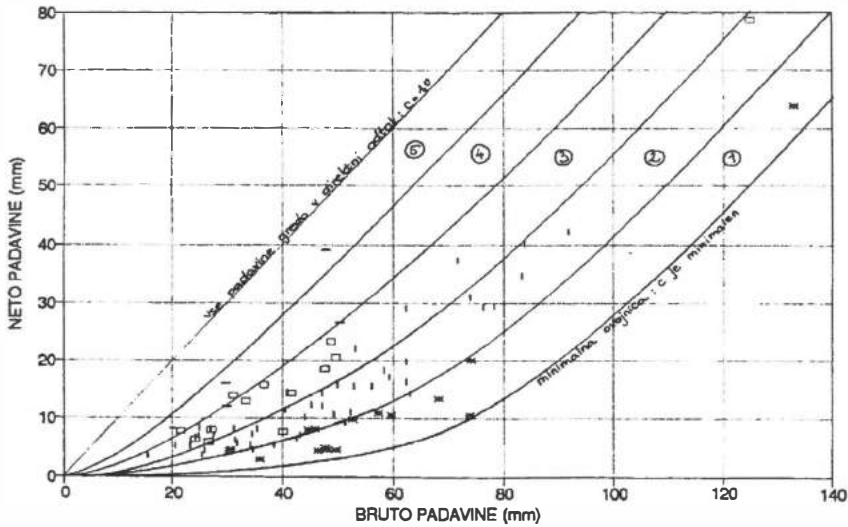
Za sve obrađene visokovodne situacije predstavljena je korelativna veza između bruto i neto kiše u funkciji indeksa prethodnih oborina IPO (slika 5). Očigledno je da je ta veza u ovisnosti od IPO loša. Zato se izradio prikaz korelativne veze između bruto i neto kiše u funkciji početnoga protoka Q_z . U tom slučaju dobivena je mnogo čvršća korelativna veza tako da se moglo čitavo područje rastresenih točaka podjeliti na 5 segmenta (slika 6). U prvome segmentu nalaze se točke poplavnih valova gdje je prethodna namočenost vrlo mala (krajna vanjska linija vrijedi za situaciju kakva je bila prije porasta protoka DQ dugotrajna suša odnosno vrlo mali početni protok Q_z). Segment broj 5 područje je izuzetno velike prethodne namočenosti. Vanjska je granica segmenta pravac, što znači, da je koeficijent direktnoga otjecaja $C=1.0$. Većina obrađenih visokovodnih situacija nalazi se u prva 3 segmenta. U 4. segmentu nalaze se u glavnome sastavljeni poplavni valovi, i to sekundarni valovi koji su nastupili u kratkom vremenskom razmaku (jednodnevnom do dvodnevnom) na još uvijek visok opadajući dio direktnoga otjecaja visokoga primarnog poplavnoga vala (2 primjera prikazana su na slici 1).



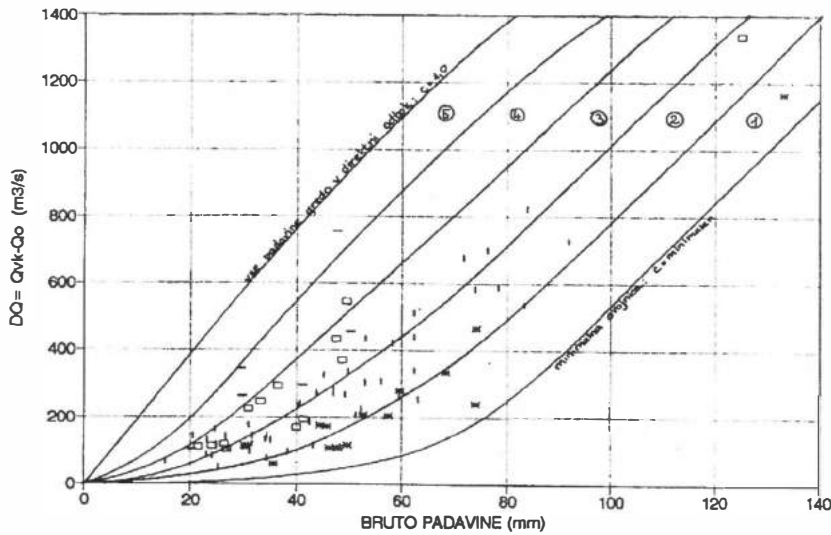
Slika 5. Korelativna veza između bruto i neto kiše u funkciji indeksa prethodnih oborina (IPO).

Figure 5. Correlation between total and net rain in function of antecedent precipitation index (IPO)

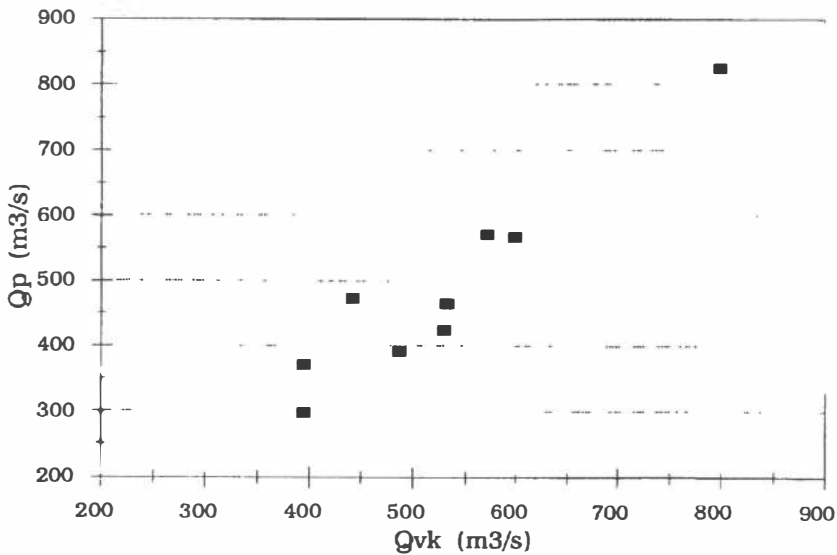
Pomoću utvrđenih ovisnosti iz slika 4 i 6, konstruiran je prikaz korelacijske veze između bruto kiše i porasta protoka poplavnoga vala DQ u funkciji početnog protoka Q_z (slika 7).



Slika 6. Korelativna veza između bruto i neto kiše u funkciji indeksa početnog protoka (Q_z).
Figure 6. Correlation between total and net rain in function of beginning discharge (Q_z).



Slika 7. Korelativna veza između bruto kiše i porasta protoka poplavna vala (DQ) u funkciji početnog protjecaja
Figure 7. Comparison between rising of the flood discharge (DQ) and total rain in function of beginning discharge (Q_z).



Slika 8. Usporedba registriranih (Q_{vk}) i prognoziranih (Q_p) vršnih protoka
Figure 8. Comparison of measured (Q_{vk}) and prognosed (Q_p) peak discharges..

Uporabljivost dobivenoga grafičkoga modela za izradu brze prognoze porasta poplavnoga vala u profilu Laško testirana je na 10 poplavnih valova u razdoblju 1961. do 1974. Dobiveni rezultati (slika 8) sasvim su zadovoljavajući. Čak i više od toga. Odstupanje između prognoziranoga i stvarnoga porasta DQ u prosjeku je 11%, a najviše 25%, što je praktično isto kao već spomenuto odstupanje iz slike 4 gdje je "prognoza" porasta DQ radena na osnovi neto kiše. To znači da je određivanje početnoga hidrološkog stanja pomoću početnoga protoka Q_z više nego zadovoljavajuće.

5. Zaključak

U prikazanoj analizi obradena su 83 poplavna vala Savinje za profile Nazarje i Laško. Predstavljena je međusobna zavisnost između 24-satne bruto i neto kiše i maksimalnog porasta protoka poplavnoga vala DQ . Pokazalo se, da je za definiranje početnoga hidrološkog stanja (samo s jednim parametrom) umjesto IPo mnogo efikasnija upotreba početnoga protoka Q_z . Testiranje grafičkoga modela pokazalo je, da se i utvrđeni rezultati mogu korisno rabiti u prognostičke svrhe. Iskusan hidrolog - prognostik može dosta dobro ocijeniti početno hidrološko stanje. Poznavanjem početnog protoka Q_z može odabrati pravi dio iz dijagrama na slici 7, te na osnovi prognoziranih bruto oborina prognozirati vršni protok poplavnoga vala.

Literatura

- Jovanović S.: *Parametarska hidrologija*, sveska 1, Beograd 1974
- Srebrenović D.: *Primijenjena hidrologija*, Tehnička knjiga Zagreb 1986.
- Thiessen A.H.: *Precipitation for Large Areas*. Mounthly weather rev. vol.39, 1911.
- Wilson E.M.: *Engineering Hydrology*, Higher and Further Education Division Mac-Millan publishers ltd, third edition 1983.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Josip Rubinić, Nevenka Ožanić

R 5-03

Hidrološki aspekti gospodarenja akumulacijom Botonega u Istri

SAŽETAK: *Akumulacija Botonega planirana je i izgrađena kao središnji višenamjenski vodoprivredni objekt na području Istre koji se zasad samo u manjoj mjeri koristi i za osiguranje vodnih zaliha.*

Izneseni preliminarni rezultati hidroloških istraživanja vodnoga bilansa akumulacije ukazuju na to, da je u uvjetima nakon formiranja akumulacije njezin raspoloživi vodni bilans za planirane namjene značajnije manji od prognoziranog, a pojave velikih voda značajnije veće od prognoziranih. Stoga su u radu prikazane i mogućnosti osiguranja dodatnih količina vode u akumulaciji njenim eventualnim prihranjivanjem iz izvora Bulaž te iz potencijalne akumulacije Rečina uzvodno od Buzeta.

KLJUČNE RIJEČI: *višenamjenska akumulacija, vodni bilans, dodatno prihranjivanje*

Hydrological Aspects of the Butonega Reservoir Management

ABSTRACT: *The Butonega reservoir is planned and constructed as a central multipurpose water management structure in Istria which had only inferior use as the water reserve so far.*

The preliminary results of hydrological investigations of the reservoir water balance indicate that, under the conditions prevailing after formation of the reservoir, the available water balance for intended purposes was considerably lower, and the occurrence of floods considerably higher than forecasted. The present paper describes the possibilities for providing the additional quantities of water in the reservoir by its possible recharge from the Bulaž spring and the potential Rečina reservoir upstream the town of Buzet.

KEY WORDS: *multipurpose reservoir, water balance, additional recharge*

1. Uvod

Akumulacija je Botonega po svojem ukupnom volumenu ($22 * 10^6 \text{m}^3$) i namijenjenoj vodoprivrednoj funkciji sasvim sigurno najznačajniji vodoprivredni objekat takvoga tipa u Hrvatskoj. Planirana je kao tronamjenski objekt, ali se od početka njezinoga formiranja 1987.g. uglavnom koristi za redukciju vodnih valova, manjim dijelom i za osiguranje zaliha vode za vodoopskrbu, dok se zasad ne koristi za planirano natanje.

Zbog iskazanih potreba za vodom na području Istre u normalnim turističkim sezonama, sasvim je sigurno da će nakon izgradnje uređaja za kondicioniranje vode znatno porasti vodoopskrbni zahtjevi za vodom iz akumulacije, a slično se očekuje i kod poljoprivrede. Rezultati provedenih hidroloških analiza vodnoga bilansa akumulacije u razdoblju nakon njezina formiranja ukazuju da su dotoci u akumulaciju značajnije manji od prognoziranih. Stoga će u najskorije vrijeme kad porastu zahtjevi za potpunim funkcioniranjem akumulacije, biti teško u punoj mjeri zadovoljiti sve planirane potrebe iz njezina vodnoga bilansa. Pogotovo i zato što su zapažene pojave velikih voda (od dne 22.10.1993.g.) značajnije veće od prognoziranih.

U radu su izneseni rezultati programa hidroloških radova koji se provode u okviru započetoga znanstvenog projekta "Protuerozijske zaštite tla i voda u Istri". Iako se radi o preliminarnim rezultatima, oni jasno ukazuju na postojanje izraženog trenda opadanja godišnjih oborina i srednjih godišnjih protoka na širem analiziranom području istarskih slivova. Kao posljedica toga trenda češće se javljaju i smanjene izdašnosti izvora i njihovih eksploatacijskih statičkih rezervi (kao npr. 1986. i 1987.g. kod izvora Gradole u dolini Mirne), te dodatno povećavaju zahtjevi za vodom iz akumulacije Botonega, a kod koje je također evidentan problem prisutnosti trenda smanjenja potrebnoga bilansa dotoka u akumulaciju.

U radu su stoga prikazane i mogućnosti eventualnog osiguranja dodatnih količina voda, njihovim dovodom iz izvora Bulaž kod Istarskih Toplica, ili pak iz neke od planiranih varijanti akumulacija u slivu Rečine uzvodno od Buzeta. Time bi se iskoristio već formirani akumulacijski prostor Botonege za osiguranje dodatno potrebnih vodnih zaliha.

Na slici 1 dana je situacija akumulacije Botonega i njezina sliva, kao položaja izvora Bulaž te planiranih varijanti akumulacije Rečina.

2. Opće karakteristike akumulacije Botonega

Akumulacija Botonega locirana je na istoimenoj glavnoj desnoobalnoj pritoci Mirne, neposredno nizvodno od mjesta gdje se sastaju njezina tri glavna bujična ogranka Botonega, te Dragučki i Račićki potok. Na slivu ukupne površine 73 km^2 te nadmorskih visina između 40 i 500 m.n.m. , zbog njegove flišne podloge razvijena je gusta hidrografska mreža površinskih, uglavnom povremenih bujičnih vodotoka.

Prvo punjenje akumulacije započelo je u svibnju 1987.g. Volumen akumulacije do kote praga preljeva (41 m.n.m.) iznosi $19,7 * 10^6 \text{m}^3$, od čega na mrtvi prostor za prihvatanje otpada $2,2 * 10^6 \text{m}^3$. Površina same akumulacije pri koti praga preljeva iznosi $2,45 \text{ km}^2$. Izgradnja akumulacije na postojećoj lokaciji planirana je još 1965.g. (1) ali ispočetka samo kao dvonamjenski objekt volumena $13,2 * 10^6 \text{m}^3$. Pri tome je zaštititi od poplava bio namijenjen prostor od $2,0 * 10^6 \text{m}^3$, a ostali prostor za osiguranje vodnih zaliha za natanje. Godine 1971.g. izrađen je glavni projekt akumulacije (4) s postojećim gabaritima brane i akumulacije, ali ponovno bez razmatranja i njezine

vodoopskrbne uloge. Po toj koncepciji tehničkim rješenjem iz 1977.g. (5) predviđena je izgradnja samo I. faze brane, dok je za drugu fazu ostavljeno nadvišenje brane do kote 41 m.n.m. da bi se osigurao prostor za akumuliranje vode za natapanje.

Nagli se razvojem turizma i njegovih potreba za vodom ukazala nužnost vrlo skoro osiguranja dodatnih količina vode za potrebe vodoopskrbe, pa je u osnovnom vodoopskrbnom planskom dokumentu 1980. g. (7) iskazano da će uz planirani razvoj u Istri već 1990. g. u turističkoj sezoni trebati dodatnih 846 ls^{-1} pitke vode, a do 2005. g. čak 1945 ls^{-1} . Zbog tih naglo aktualiziranih vodoopskrbnih zahtjeva posljednjim je rješenjem već usvojena namjena akumulacije proširena. Radovi na samoj izgradnji akumulacije započeli su još 1979. g., i to odmah do konačne faze s kotom od 41 m.n.m. Isto tako, započeli su radovi i na izgradnji vodoopskrbnoga sustava Istre vezana uz akumulaciju. No, u skladu s novim prihvaćenim tehničkim rješenjem akumulacije nije provedeno i kalendarski kvantitativno definiranje potreba za osiguranjem potrebnih količina vode za vodoopskrbu i natapanje. Za spljoštenje vodnih valova predviđen je samo prostor iznad kote praga preljeva, a za vodoopskrbne potrebe operira se s podatkom od potrebnih $17.3 * 10^6 \text{ m}^3$ volumena akumulacije, kao i podatkom od potrebnih 1945 ls^{-1} tijekom 100 ljetnih dana ($16,8 * 10^6 \text{ m}^3$ godišnje). Preciznije definiranje potreba, te modeliranje rada akumulacije u skladu s tim potrebama kao i prisutnim ograničenjima nije, koliko je autorima poznato, dosad provedeno, a nije ni razmatrano postoji li, i u kojoj mjeri, uz prioritetnu vodoopskrbnu namjenu akumulacije mogućnost osiguranja vode za natapanje. Dosad nisu razmatrana ni neka bilansna ograničenja, kao što je potrebno definiranje dopuštenog sniženja razine vode u akumulaciji iz limnološko-termičkih i bioloških razloga, kao ni potrebno ispuštanje biološkoga minimuma vode.

Zbog još nezavršena procesa konsolidacije brane zasad postoji i ograničenje maksimalno dopuštene normalne razine vode u akumulaciji, koja iznosi 36 m.n.m. u vodnom, odnosno 38 m.n.m. u sušnome razdoblju godine. Kako je djelovanje akumulacije Botonega u funkciji zaštite od velikih voda nizvodnijega dolinskoga područja Mirne usvojenim rješenjem predviđeno samo s raspoloživim prostorom iznad praga preljeva, ali uz izgradnju još jedne pregrade u slivu Mirne, vjerojatno je da će zbog karaktera velikih voda Botonege do izgradnje jedne takve nove akumulacije ostati zahtjevi za nižim dopuštenim normalnim usporima vode u postojećoj akumulaciji. Tome ide u prilog i zabilježena pojava izuzetno velikih voda iz listopada 1993. g., kad je u akumulaciji prihvaćen vodni val vršne srednje satne protoke od čak $301 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, te ukupnog volumena od $7.76 * 10^6 \text{ m}^3$ vode. Zapaženi vodni val po volumenu je približno odgovarao projektiranom 10.000-godišnjem maksimalnom volumenu od $7.9 * 10^6 \text{ m}^3$, dok je maksimalna protoka bila daleko veća i od projektirane maksimalne 10.000-godišnje protoke od $240 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Da je vodni val naišao na akumulaciju ispunjenu do kote praga preljeva, maksimalna bi preljevna protoka iznosila čak $62.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, te bi došlo i do superponiranja s velikim vodnim valom glavnoga toka Mirne (13).

Izgradnja akumulacije službeno je dovršena 1988.g. i svoju pozitivnu ulogu u sprečavanju poplava nizvodnijega područja sliva Mirne osim pri spomenutoj katastrofalnoj poplavi pokazala je i prilikom pojava velikih voda u studenome 1991. g., te u listopadu i prosincu 1992. g.

Mada su zbog poznatih ratnih prilika u Hrvatskoj privremeno nešto smanjeni sezonski zahtjevi za vodom, akumulacija je, unatoč još nedovršenom vodoopskrbnom sustavu i neizgrađenom centralnom uređaju za kondicioniranje, i u smislu osiguranja potrebnih količina vode za vodoopskrbu ostvarila pozitivnu ulogu – preko ponora Čiže vodom iz akumulacije u sušnim razdobljima 1988., 1990. i 1993.g. prihranjivan je izvor Gradole, a interventno se, putem privremenoga uređaja za kondicioniranje u Bermu, u vodoopskrbni sustav Pule ubacuje dodatnih 150 ls^{-1} vode iz akumulacije.

3. Vodni bilans akumulacije Botonega (1987.-1993.g.)

U dosadašnjoj dokumentaciji vezanoj uz izgradnju akumulacije Botonega, osnovni su prihvaćeni parametri vodnog bilansa bili sljedeći (3):

- srednji godišnji dotok od $0.98 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (usvojeno $0.95 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) na osnovi međuodnosa površina pripadajućih slivova, za profil akumulacije usvojen koeficijent redukcije srednjih godišnjih protoka s nizvodnijega profila Potonski most Mirna u iznosu od 0,116.
- srednja godišnja količina oborine u slivu 1.130 mm
- srednji godišnji otjecajni koeficijent 0.38

Bilo je i nekih drugih kasnijih proračuna bilansa godišnjih protoka, u kojima su dijelom korišteni i podaci promatranja s vodokaza Šculci (77 km^2) locirana nizvodnije od postojeće pregrade, pa su proračunate i nešto drukčije vrijednosti se srednjih godišnjih dotoka npr. $1.47 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (9). No, vrijednost se od $0.98 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ srednje godišnje protoke zadržala do današnjih dana kao praktično jedina šire prihvaćena vrijednost pri razmatranju bilansa dotoka u akumulaciju Botonega.

Kompletnija hidrološka praćenja dinamike kolebanja akumulacije Botonega, te palih oborina u slivu, isparavanja, ispuštanja, crpljenja i gubitaka vode iz akumulacije započela su nakon njezina prvoga punjenja 1987. g., a dijelom (registracija istjecanja iz akumulacije prije zatvaranja) i nešto ranije tijekom 1986. g. Analiza tih podataka daje u promatranom razdoblju (1987.-1993.g.) bitno drugačije – manje vrijednosti godišnjih oborina u slivu (891.5 mm), manje vrijednosti srednjih godišnjih dotoka ($Q_{sr} = 0.631 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), pa tako i srednje vrijednosti otjecajnog koeficijenta (0.31).

Sam proračun srednjih mjesečnih dotoka u akumulaciju (Q) proveden je na razini promotrenih mjesečnih podataka po sljedećoj bilansnoj jednadžbi:

$$Q = (V_{isp} + V_{crp} + V_{isp} + V_{ti} + V_{izv} + \Delta V) / T \quad \dots 1$$

Tu su:

- V_{isp} – Mjesečna isparavanja s vodene površine određena prema mjerenjima isparavanja na Američkom isparitelju klase A.
- V_{crp} – Mjesečna crpljenja iz akumulacije na osnovu zabilježenih podataka dosad su se godišnje crpljene količine kretale između $524 * 10^3$ i $2.843 * 10^3 \text{ m}^3$.
- V_{isp} – Mjesečne količine ispuštene vode iz akumulacije određene na osnovu zabilježenih podataka o manipulacijama sa zapornicom, hidrauličkih karakteristika preljeva i temeljnog ispusta, kao i prema rezultatima provedenih serija vodomjerenja na odvodnome kanalu, vršenih prilikom takvih ispuštanja.
- V_{ti} – Mjesečni gubici vode kroz zapornicu temeljnog ispusta i putem jednoga procijednog izvora locirana uzvodno od limnografskoga profila na odvodnom kanalu prema kojem su ti podaci i dati.
- V_{izv} – Mjesečni gubici vode iz akumulacije putem dvaju izvora lociranih u lijevome boku doline nizvodno od brane, a čija je izdašnost (q) ovisna o razini vode (H) u akumulaciji:

$$q = (1.371 * H - 36.6) * 10^3 \quad (\text{m}^3\text{s}^{-1}) \quad \dots 2$$

ΔV – mjesečne promjene volumena vode u akumulaciji.

T – vremensko trajanje analiziranog mjeseca

Na osnovu tih ulaznih parametara, matematičkim modelom simulacije određeni su srednji mjesečni dotoci u akumulaciju u razdoblju 1987.-1993. g. koji su varirali između $0,013 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ i $4,049 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, odnosno na razini srednjih godišnjih protoka između 0.408 (1989.) i 0.907 (1992.) $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$. Na slici 2 dan je grafički prikaz hoda srednjih mjesečnih oborina u slivu i dotoka u akumulaciju, kao i srednjih razina vode u akumulaciji u razdoblju VI.1987 – XII.1993. g.

U tablici 1 dan je prikaz prosječnih mjesečnih vrijednosti ulaznih i proračunatih hidroloških parametara vodnoga bilansa, a na slici 3 hod prosječnih mjesečnih dotoka u akumulaciju te prosječnih mjesečnih vrijednosti palih oborina u analiziranom razdoblju 1987.1993. g., kao i oborina za razdoblje 1972.-1993. g., prema kojima 22-godišnji prosjek oborina u slivu iznosi 1017 mm . Radi uvida u karakter višegodišnjega kolebanja godišnjih dotoka u Botonegu, podaci o godišnjim prosječnim dotocima nakon formiranja akumulacije (1986.-1993. g.) korelirani su s podacima 39-godišnjeg niza promatranja s limnigrafa Portonski most u nizvodnijem dijelu sliva Mirne ($k=0.71$), kao i s podacima susjednog sliva Pazinčice u profilu Dubravica ($k=0.83$). Na slici 4 dan je komparativni prikaz spomenutih korelacijom rekonstruiranih vrijednosti srednjih godišnjih dotoka u akumulaciju Botonega (Q_{Bot}), iz kojih je vidljivo da su u razdoblju zajedničkoga rada limnigrafa Dubravica i Portonski most dobivene relativno bliske vrijednosti. S obzirom na pogodnosti duljinu niza, unatoč nešto manjega koeficijenta korelacije, usvojene su vrijednosti dobivene preko podataka Portonskog mosta (Q_{Por}), a na osnovi formule:

$$Q_{\text{Bot}} = 0.1229 * Q_{\text{Por}} - 0.144 \quad (\text{m}^3 \text{ s}^{-1}) \quad \dots 3$$

Vidljivo je da postoji i izrazit trend opadanja vrijednosti srednjih godišnjih dotoka u Botonegu, koji prema podacima dobivenim korelacijom s Portonskim mostom iznosi 4.1 ls^{-1} godišnje, tj. u odnosu na srednju vrijednost ($0.789 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) značajnih cca 0.5% godišnje. Radi komparacije, u istom razdoblju utvrđen je i razmjern trend opadanja godišnjih količina oborina od $5,6 \text{ mm}$ godišnje, tj. u odnosu na srednju vrijednost niza 1064 mm također cca 0.5% godišnje. Kako su se godišnje količine oborina u analiziranom razdoblju 1987.-1993. g. kretale između 787 i 1.009 mm , sve su one bile ispod prosječnih vrijednosti.

Radi ocjene sušnosti analiziranog razdoblja, provedena je i analiza vjerojatnosti pojave srednjih godišnjih dotoka, prema kojoj je vidljivo da su osim 1992. g., svih ostalih šest godina zabilježeni ispodprosječni godišnji dotoci karaktera između 2 i 5 – godišnjeg povratnog perioda, dok je najsušnija 1989.g. imala karakter 10-godišnjeg povratnoga perioda. No, s obzirom na uzastopnu pojavu niza tako sušnih godina, takva koincidencija ima karakter i rjede pojave.

Prema iznesenim procjenama vrijednosti višegodišnjih prosjeka godišnjih količina oborine dotoka u Botonegu, prosječni višegodišnji otjecajni koeficijent bi iznosio 0.32 .

Očito je da je davno dana procjena srednjih godišnjih dotoka u Botonegu od $0.98 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, temeljena na znatno kraćem nizu osmatranja i iz znatno povoljnijeg hidrološkog razdoblja bila za cca 20% preoptimistična u odnosu na novoutvrđen srednji višegodišnji dotok od $0.789 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, odnosno cca $25 * 10^6 \text{ m}^3$. S obzirom na postojeće hidrološke prilike (1987.-1993.) kad je srednji godišnji dotok iznosio svega $0.661 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, ta razlika je i veća – cca 33% . Osim toga, kod razmatranja osiguranja potrebnih količina vode u akumulaciji, zabrinjavajući su i analizirani trendovi opadanja godišnjih količina oborina i srednjih godišnjih protoka.

4. Mogućnosti dodatnoga prihranjivanja akumulacije

Iz navedenih podataka vidljivo je da će pri budućoj punoj namjeni akumulaciji Botonega nedostajati dotoci za podmirenje planirane potrošnje. Ukoliko bi se, respektirajući već formiran akumulacijski prostor i izgrađen vodoopskrbni sustav, rješenje problema nedostatka potrebnog bilansa vode u akumulaciji Botonega pokušalo pronaći i u njenom dodatnom prihranjivanju, ne ulazeći za sada u ekonomičnost takvih rješenja, kao najbliže pružaju se sljedeće mogućnosti:

- Dovod vode cjevovodom iz cca 9 km udaljena izvora Bulaž kod Istarskih Toplica, s kotom istjecanja na cca 9 m.n.m. Izvor prosječne godišnje izdašnosti od cca $1.51 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ima značajne preljeve, jer mu se za sada koristi svega oko 0.1-0.2 % bilansa, i to prebacivanjem njegovih voda u izvor Gradole u sušnim razdobljima. U budućim razmatranjima dodatnog prihranjivanja akumulacije Botonege, svakako treba preispitati i mogućnost iskorištenja postojećih crpnih postrojenja i 18 km dugog cjevovoda između izvora Bulaž i izvora Gradole kapaciteta $0.14 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, udaljenog cca 4 km od akumulacije Botonega. Njime bi se, osim u ovom radu razmatrane mogućnosti prihranjivanja iz izvora Bulaž, akumulaciju moglo prihranjivati dijelom godine i iz kaptiranog izvora Gradole kojemu je srednja godišnja protoka $1.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, ali se njegov bilans značajnije koristi za vodoopskrbu - cca 20 - 25 %.
- Dovod vode cjevovodom tunelom iz Botonegi susjednog sliva Rečine, gdje se upravo razmatraju mogućnosti ostvarenja akumulacije na nekoliko varijanti pregradnih profila. Za eventualno gravitacijsko prebacivanje njihovih voda u sliv Botonege, moguće bi bila pogodna dva razmatrana pregradna profila:
- nizvodno od sela Kotli s površinom sliva 19.73 km^2 i kotom dna akumulacije od 128 m.n.m., te dovodnim tunelom do sliva Botonege duljine cca 3 km,
- uzvodno od sela Kotli s površinom sliva od 16.22 km^2 i kotom dna akumulacije od 162 m.n.m., te dovodnim tunelom do sliva Botonege duljine cca 2 km.

Radi orijentacijskoga sagledavanja mogućnosti prihranjivanja akumulacije Botonega i iz spomenutih dopunskih vodnih potencijala, u tablici 1 dan je i prikaz karakterističnih (srednjih, minimalnih i maksimalnih) srednjih mjesečnih podataka izdašnosti izvora Bulaž (za razdoblje 1981.-83. te 1986.-1993. g.), te prognoziranih odgovarajućih dotoka u slivu Rečine za profile akumulacija Kotli nizvodno i Kotli uzvodno, dobijenih na osnovi provedene redukcije opaženih protoka na nizvodnijem profilu limnigrafa Pengari Rečina (1972.-1992. g.).

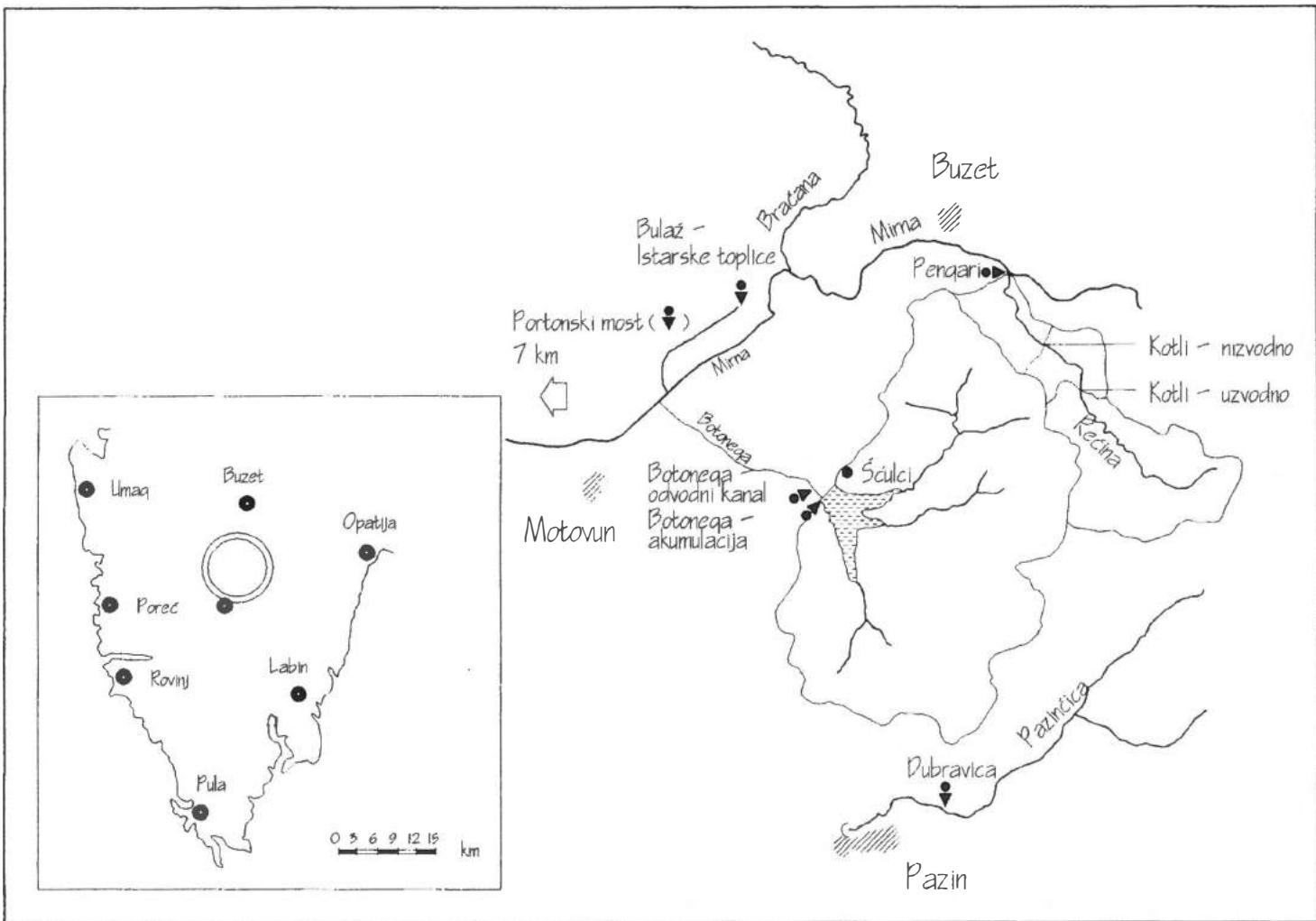
5. Zaključci

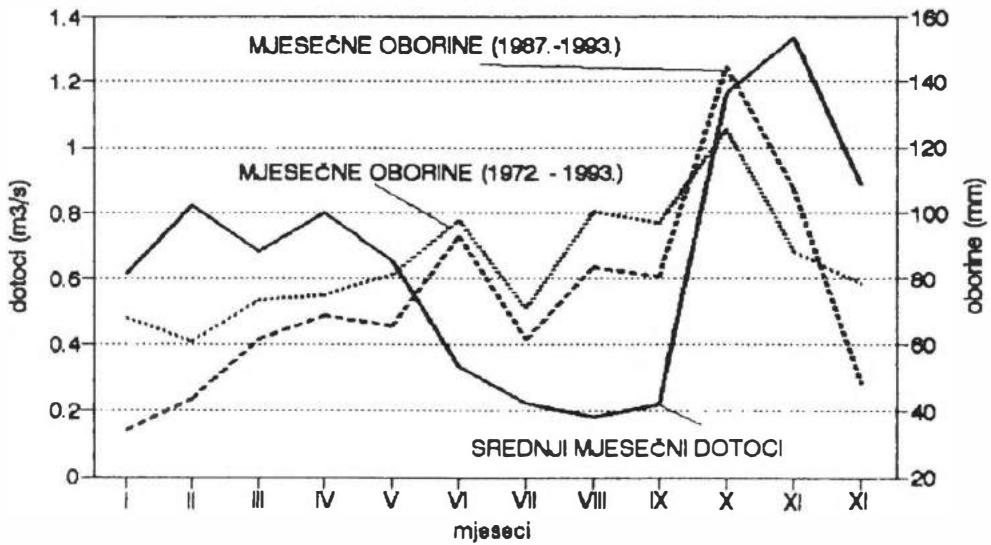
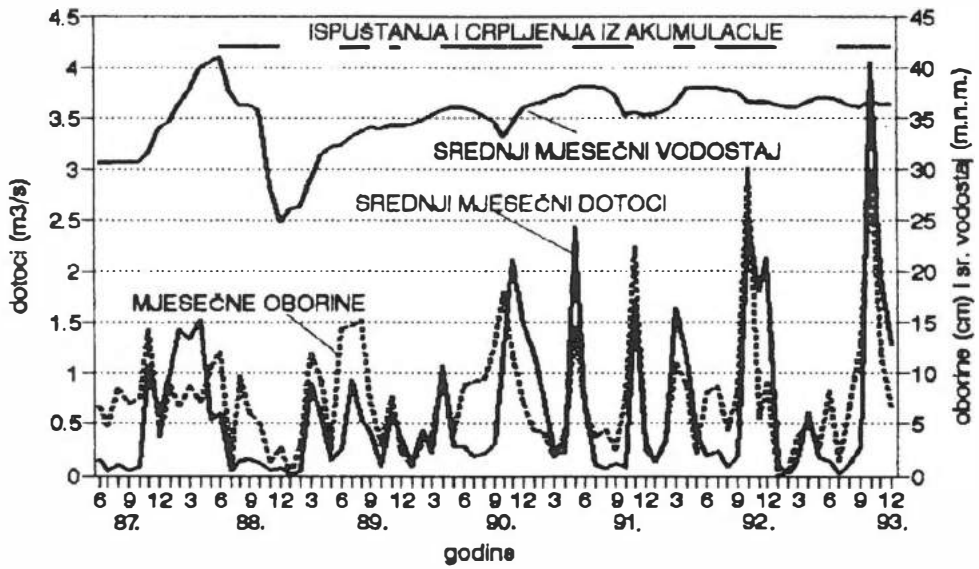
U radu je razmotrena opća problematika hidrološkoga bilansa dotoka izgrađene akumulacije Botonega. Dobivene vrijednosti srednjih godišnjih dotoka iz razdoblja nakon ostvarenja akumulacije značajnije su manje od nekad prognoziranih, a nasuprot tome, zapažene pojave velikih vodnih valova veće su od prognoziranih.

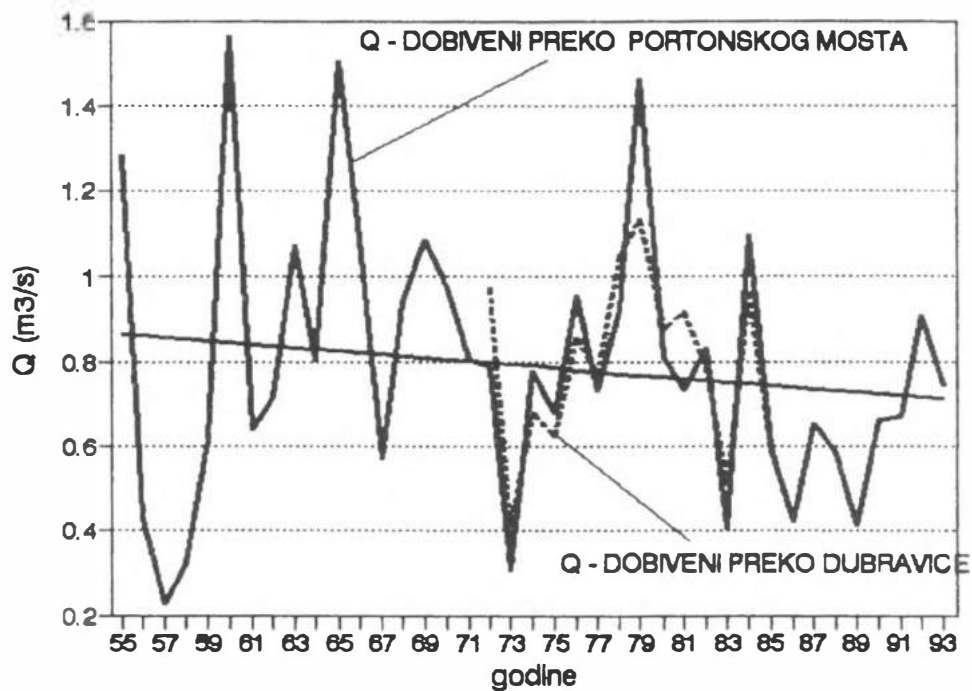
U tim uvjetima neophodno je izvršiti sve potrebne pripreme za realnije sagledavanje problema gospodarenja akumulacijom za situaciju kad porastu zahtjevi i korištenjem raspoloživih vodnih zaliha. Za potrebe eventualnog prihranjivanja akumulacije, u slučaju ekonomske opravdanosti takvih zahvata, mogući raspoložive dopunske količine vode izvor su Bulaž i neka od potencijalnih akumulacija u slivu Rečine. Ukoliko se želi u što većoj mjeri iskoristiti vodni bilans Botonege samo za vodoopskrbu, u cilju osiguranja potrebne zaštite dolinskoga područja Mirne neophodna je izgradnja novih akumulacija u njezinu slivu, kojima bi se onda parcijalno osiguravale i vodne zalihe za natapanje.

6. Literatura

1. Srebrenović, D.: *Vodoprivredna osnova sliva Mirne*. Fond stručne dokumentacije "Projekt", Zagreb, 1965.
 2. Nardini, D.: *Akumulacija Botonega – glavni projekt*, Fond stručne dokumentacije "Elektroprojekt", Zagreb, 1971.
 3. Stepinac, A.: *Studija akumulacija u srednjoj Istri*, Stručna dokumentacija Elektroprojekt, Zagreb, 1970.
 4. Stepinac, A.: *Brana Na Botonega – glavni projekt*, Stručna dokumentacija "Elektroprojekt", Zagreb, 1971.
 5. Stepinac, A.: *Brana na Botonegi - I etapa izgradnje - glavni projekt*, Stručna dokumentacija Elektroprojekt, Zagreb, 1977.
 6. Stepinac, A.: *Vodoprivredni plan Istre*, Stručna dokumentacija "Elektroprojekt", Zagreb, 1979.
 7. Ivanović, Lj.: *Vodoopskrbni sistem Istre - idejno rešenje*, Stručna dokumentacija Energoprojekt, Beograd, 1980
 8. Simić, M.: *Brana na Botonegi – izmjene glavnog projekta*, Stručna dokumentacija "Elektroprojekt", Zagreb, 1981.
 9. Stojković, M.: *Akumulacija "Botonega – hidrološka studija"*, Stručna dokumentacija "Energoprojekt", Beograd, 1984.
 10. Magdalenić, A.: *Studija sliva izvora Bulaž u Istri*, Stručna dokumentacija RGN fakulteta, Zagreb, 1984.
 11. Bakota, M.: *Akumulacija Botonega rezultati hidrometeoroloških mjerenja u toku prvog punjenja i pražnjenja akumulacije (1987. 1988.)*, Stručna dokumentacija "Vodoprivrede", Rijeka, 1989.
 12. Pavletić, Lj. i dr.: *Namjena i gospodarsko značenje akumulacije Botonega – Butoniga*, Hrvatska vodoprivreda 13/1993. Zagreb, 1993.
 13. Rubinić, J.: *Poplava u Istri iz listopada 1993.g. i režim rada akumulacija*, Stručna dokumentacija JVP istarskih slivova, Labin, 1994.
 14. Rubinić, J.: *Hidrološki aspekti gospodarenja akumulacijskim vodnim prostorima u Istri*, Hrvatska vodoprivreda 26/1994. Zagreb, 1994.
 15. Gjetvaj, G.: *Prijedlog metode određivanja protoka kroz temeljni ispušni akumulacije Butoniga*, Stručna dokumentacija Građevinskog fakulteta, Zagreb, 1995.
- xxxx podaci osmatranja iz BHPa Državnog HMZa iz Zagreba
- xxxx redovni izvještaji hidrološkog promatranja brane i akumulacije Botonega za godine u razdoblju 1989.1993., Stručna dokumentacija JVP istarskih slivova iz Labina.







tablica 1

L O K	PARAMETAR	MJESECI												GOD.
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
B O T O N E G A 87 - 93	mj. oborine (mm)	33.7	43.7	61.3	66.5	65.2	93.1	61.4	83.5	80.7	144.8	107.4	48.2	891.5
	mj. isparavanja (mm)	22.0	30.5	59.2	80.4	128.5	133.7	173.9	158.6	87.0	46.8	31.3	26.2	982.8
	sr. dotoci (m ³ /s)	0.617	0.823	0.681	0.800	0.855	0.329	0.223	0.180	0.215	1.166	1.332	0.888	0.661
	sr. gubici zapornice (m ³ /s)	0.024	0.032	0.046	0.070	0.066	0.094	0.068	0.078	0.081	0.151	0.096	0.056	0.072
	sr. gubici proceđivanja (m ³ /s)	0.017	0.012	0.014	0.030	0.032	0.032	0.041	0.025	0.033	0.031	0.063	0.039	0.031
	sr. crpljenja (m ³ /s)	0	0	0	0	0	0.004	0.101	0.089	0.084	0.044	0.009	0.006	0.028
	sr. ispuštanja (m ³ /s)	0.217	0.094	0.072	0.138	0.343	0.360	0.326	0.012	0.281	1.423	1.512	0.724	0.459
sr. otjec. koef.	0.33	0.82	0.41	0.41	0.37	0.13	0.13	0.06	0.09	0.30	0.44	0.67	0.32	
B U L A Ž	sr. protoka (m ³ /s)	1.400	1.629	1.832	1.597	1.703	0.918	0.409	0.343	0.480	2.323	3.102	2.455	1.513
	maks. sr. protoka (m ³ /s)	3.090	3.940	3.590	2.960	5.810	1.790	1.020	1.080	1.240	7.510	8.820	8.410	2.127
	min. sr. protoka (m ³ /s)	0.109	0.132	0.418	0.571	0.447	0.282	0.107	0.056	0.052	0.142	0.129	0.232	1.021
P E N G A R I 1.	sr. protoka (m ³ /s)	0.036	0.285	0.278	0.258	0.185	0.063	0.022	0.036	0.048	0.227	0.287	0.278	0.191
	maks. sr. protoka (m ³ /s)	1.316	0.695	0.537	0.643	0.790	0.186	0.082	0.297	0.213	1.424	0.770	0.756	0.408
	min. sr. protoka (m ³ /s)	0.001	0.004	0.009	0.047	0.009	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.000	0.070
P E N G A R I 2.	sr. protoka (m ³ /s)	0.406	0.346	0.338	0.314	0.224	0.077	0.027	0.044	0.059	0.275	0.349	0.337	0.233
	maks. sr. protoka (m ³ /s)	1.599	0.645	0.652	0.781	0.959	0.226	0.099	0.361	0.258	1.730	0.935	0.918	0.495
	min. sr. protoka (m ³ /s)	0.001	0.005	0.011	0.057	0.011	0.004	0.001	0.002	0.001	0.002	0.003	0.000	0.085

Napomena:

Lokacija Pengari 1. - pregradni profil uzvodno od sela Kotli

Lokacija Pengari 2. - pregradni profil nizvodno od sela Kotli



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Nevenka Ožanić, Josip Rubinić

R 5-04

Hidrološki koncept funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu

SAŽETAK: *Vransko jezero osobiti je prirodni fenomen pojave 220 mil. m³ slatke jezerske vode na otočnom kršu u neposrednoj blizini mora. Jezero je dio širega otočnoga krškoga akvifera u kojemu se prihranjivanje i otjecanje vrši nelokaliziranim podzemnim putevima. Unatoč nemogućnosti kvantitativnog promatranja njegovih dotoka i otjecanja, na osnovi raspoloživih podataka promatranja dinamike promjene razine jezera u različitim hidrološkim prilikama, hidrološkim su metodama utvrđene zakonitosti u ponašanju jezerskoga sustava.*

Izrađen je i njegov matematički model, a rezultati dosad provedenih hidroloških analiza daju i osnovne naznake fizikalnoga modela funkcioniranja sustava Vranskog jezera, na čemu je i naglasak ovog rada.

KLJUČNE RIJEČI: *Vransko jezero, otočni krški akvifer, priobalni izvori i vrulje*

Hydrological Concept of the Vransko jezero Lake Functioning (the Island of Cres)

ABSTRACT: *The Vransko jezero lake is a special natural phenomenon: 220 million cu.m. of fresh lake water in the island karst, in the immediate vicinity of the sea. The lake is a part of the wider island karst aquifer which is recharged and discharged through unlocated underground passages. Although there is no possibility to monitor the quantity of its inflow and runoff, the lake system behavior patterns have been detected from the available monitoring data of the lake water table fluctuations dynamics under various hydrodynamic conditions and by using the hydrological methods.*

The mathematical model has been prepared for the lake, and the results of the hydrological analyses completed so far are offering the outlines of the physical model of the Vransko jezero system functioning.

KEY WORDS: *the Vransko Jezero lake, island karst aquifer, littoral springs and submarine springs*

1. Uvod

Problematika zaštite i načina funkcioniranja Vranskog jezera, inicirana trendom drastičnog opadanja njegove razine u drugom dijelu 80-tih godina aktualizirana je posljednjih godina započetim "Programom istražnih radova u svrhu donošenja odluke za optimalno korištenje i očuvanje vode Vranskog jezera na otoku Cresu" koji nažalost, zbog poznatih ratnih zbivanja, nije realiziran puno dalje od I faze. Hidrološka istraživanja sastavni su dio tog programa, a dosad prikupljene i analizirane podloge omogućuju stvaranje osnovnih pretpostavki modela "disanja" jezerskoga sustava kao sastavnoga dijela šireg otočnog krškog akvifera.

Za spomenuti je da postoje i drugi, čak i suprotni aktualni pristupi u tumačenju mehanizma funkcioniranja Vranskog jezera. No, prema spoznajama autora, rezultati provedenih analitičkih numeričkih modelnih sagledavanja ponašanja Vranskog jezera u različitim hidrološkim prilikama daju potvrdu iznesenoga koncepta hidrološkog modela. U radu je dan i osvrt na najnovije rezultate drugih istraživanja Vranskog jezera (limnoloških, istraživanja porijekla i starosti voda), u kojima se nalaze dodatne potvrde mogućnosti funkcioniranja takvog hidrološkog modela.

Prikaz samoga matematičkoga modela Vranskog jezera, temeljenog na bilansnoj jednadžbi jezera, publiciran je u prethodnom radu autora (14), i neće se, kao ni dobiveni numerički rezultati provedenih analiza, ovdje ponavljati. Za napomenuti je da pri njegovoj izradi autori nisu imali nikakve premise o dominantno regionalnom ili lokalnom prihranjivanju, nego je analizirano ponašanje jezera u različitim hidrološkim prilikama, te su iz toga određeni funkcionalni izrazi i zaključci.

Ocijenjeno je da akvifer Vranskog jezera funkcionira lokalno, a da mu površina pripadajućeg sliva, koja se inače mijenja ovisno o stanju hidroloških prilika, iznosi reda veličine 24 km^2 . Utvrđena je prisutnost gubitaka iz jezerskog akvifera, kao i utjecaj crpljenja na sniženje razine jezera.

2. Otočni krški akvifer i njegove značajnije vodne pojave

Osnovna postavka autora danog rada pri sagledavanju hidrološkog modela funkcioniranja Vranskog jezera bila je da se jezero ne može promatrati izolirano od ostalih vodnih pojava na otoku. Unatoč nepostojanju izraženih i stalnih površinskih vodnih tokova, otok Cres, kao i glavninu drugih krških otoka, karakterizira prisutnost stalnih količina slatke vode u njegovu podzemlju. Karakter njihova otjecanja, osim o obo-rinskome režimu, prvenstveno ovisi i o stupnju okršenosti otoka, a što uvjetuje mogućnost akumuliranja podzemnih rezervi voda, kao i njihov kontakt s morem.

I na krškim otocima pri odnosu slatke vode i mora vrijedi opći princip Ghyben-Hertzbergova zakona (3),(1), te se u načelu u podzemlju otoka formira slatkovodna leća u dinamičkoj ravnoteži s morem. Zbog nehomogenosti strukture krškoga podzemlja i karaktera različite propustljivosti stijenskoga masiva, po pojedinim privilegiranim drenažnim pravcima dolazi do naglijih prodora mora u formiranu slatkovodnu leću. Takve česte pojave izazivaju formiranje jedne široke prijelazne zone bočate vode, koja tako dijelom deformira teoretsku sliku međuodnosa slatke vode i mora do kojega bi došlo kada bi se njihov kontakt odvijao u zonama homogenih intergranuliranih akvifera (2).

Na otoku Cresu situacija je donekle specifična zato što je krški akvifer dijelom otvoren kriptodepresijom Vranskog jezera, koja volumena cca 220 mil. m^3 slatke vode ima poseban utjecaj na režim "disanja" toga krškog akvifera. Na samom jezeru nema uočenih značajnijih stalnijih izvora, osim dva manja povremena s procijenjenom izdašnošću do 5 ls^{-1} u maksimumu.

U odnosu na vode kopnenoga područja koje su izvan utjecaja mora, salinitet vode u jezeru naglašeniji je te prema rezultatima posljednjih istraživanja (13), "izmjerene koncentracije klorida u jezerskoj vodi, tijekom godine, kretale su se u rasponu od 62 do 92 mg l⁻¹... Prosječan sadržaj klorida po sezonama ujednačen je cijele godine (> 65 mg l⁻¹), ali pojava stratificiranja jezera odražava se i na raspodjelu sadržaja klorida. Ustanovljena je tendencija blagog rasta koncentracije klorida prema dubini na većem dijelu prostora jezera. Rezultati mjerenja koncentracije klorida duž vodenog stupca potopljene vrtače pokazuju u srpnju pojavu malog zaslanjenja na dubini 40m ispod površine, uz oslađivanje prema dnu vrtače."

Na širem području Vranskog jezera i obližnje obale otoka Cresa zabilježeno je više pojava vrulja i priobalnih izvora, od kojih su neke od njih smještene na priobalnome području mogu povezati s Vranskim jezerom, odnosno njegovim akviferom, kao moguću privilegirani smjerovi pražnjenja formiranog otočkog akvifera (slika 1). Kako je istjecanje priobalnih izvora i vrulja u direktnu kontaktu s morem, karakterizira ih daleko veći salinitet od saliniteta voda Vranskog jezera.

Od značajnijih lokaliteta s registriranim koncentriranim stalnim istjecanjima podzemnih voda na zapadnoj obali otoka Cresa, za spomenuti je vrulju Vrutak (više stotina l s⁻¹ zaslanjene vode). Znatno su manje vrulje u Martinšćici (procijenjeno 0,5 2 l s⁻¹) i Miholašćici (ispod 1 l s⁻¹), te povremena vrulja u Valunu. Za istaknuti je i stalnu pojavu istjecanja slatke vode u priobalnoj pećini Plava grota u uvali Žanja ispod Lubenica.

Kod vrulje Vrutak, locirane desetak metara od kopna, s istjecanjem na dubini od cca 6 m, u nekoliko su navrata vršena detaljnija mjerenja i uzorkovanja. Tom prilikom utvrđeni su vrlo veliki saliniteti vode te vrulje (20.000 – 23.000 mg l⁻¹), vrlo blizu salinitetima okolnog mora. Pojava istjecanja slatke vode u uvali Vrutak zapažena je i na lokaciji samoga kontakta obale s morem.

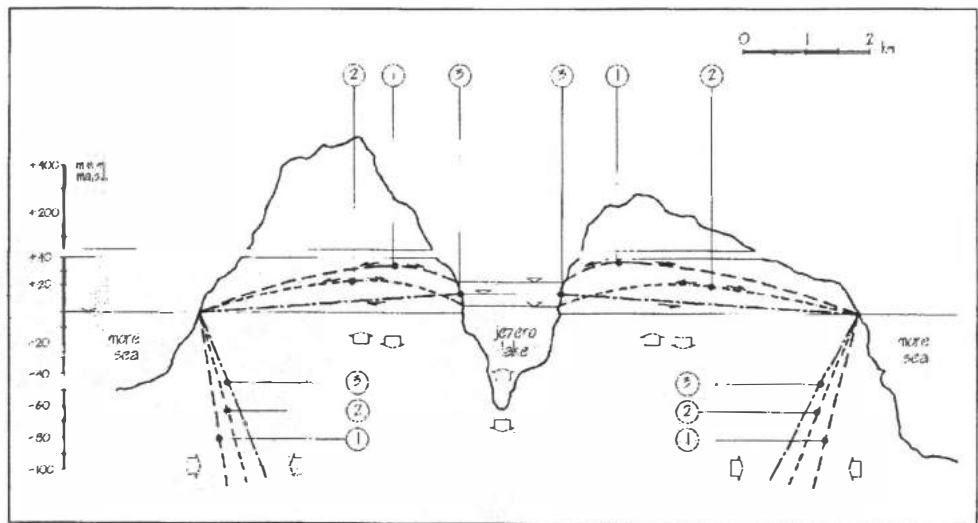
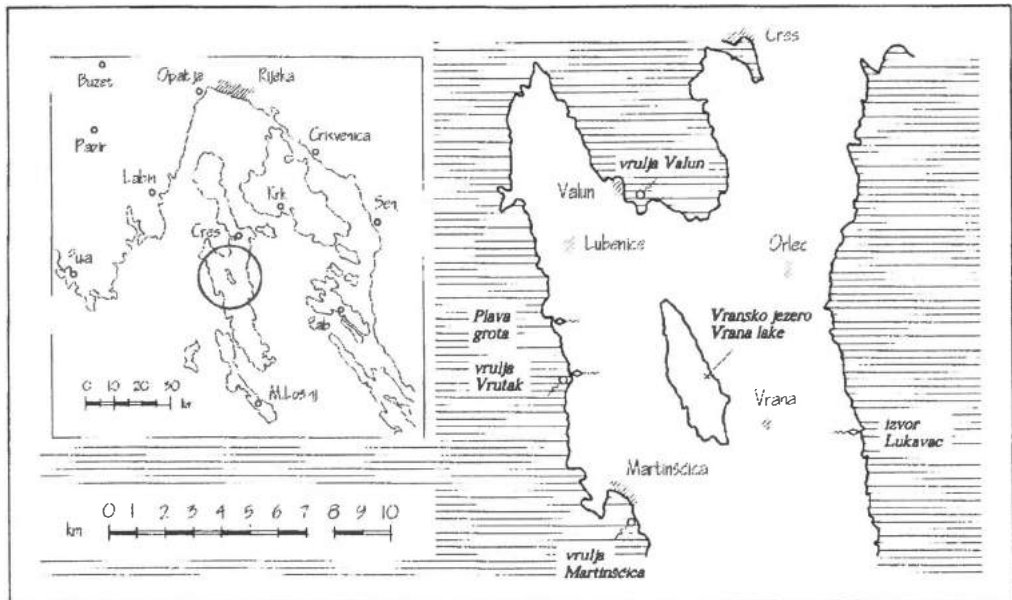
Na istočnoj obali otoka Cresa najinteresantnija je vodna pojava priobalni izvor Lukavac. Njegove izmjerene izdašnosti kretale su se između 48 i 32 l s⁻¹ (izmjereno u kolovozu 1993.g. na kraju 9mesečnog izrazito sušnog razdoblja) (11). Osim kad je izvor potpuno potopljen visokim razinama mora, saliniteti su znatno niži od saliniteta mora iznosili su cca od 2.000 do 8.000 mg l⁻¹ (okolno more -cca 23.000 mg l⁻¹).

Osim spomenutih koncentriranih i stalnih istjecanja slatke vode otočnoga krškoga akvifera analiziranog područja otoka Cresa, postoji i više zona jedva vidljiva difuznoga istjecanja slatke vode na kontaktu obale otoka i mora koje u ukupnom bilansu istjecanja mogu imati značajan udio. No, zbog karaktera takvog istjecanja one nisu ni mogle biti obuhvaćene nekim klasičnim metodama promatranja. Stoga bi bilo korisno provesti aviotermografska snimanja Vranskog jezera i obala otoka Cresa u barem dva hidrološka stanja sušnom i vodnom.

Na slici 2 dat je shematski presjek otoka Cresa kroz Vransko jezero, te su s tim u vezi, kao i na osnovi rezultata provedenih analiza, dana tumačenja hipotetičkih međuodnosa jezera, podzemnih voda i mora u zoni otoka Cresa. To je ujedno i hidrološki koncept modela funkcioniranja akvifera Vranskog jezera (11).

Kad je razina vode u jezeru i krškom akviferu visoka, u uvjetima jačih oborina podiže se i razina podzemnih voda. Podzemne vode otječu i prema moru i prema jezeru, a pretpostavljena je podzemna razvodnica u položaju 1. U toj situaciji je i volumen vode u krškom akviferu uvjetno rečeno "ispod otoka" najveći, te je i zona miješanja slatke i slane vode najdublja.

Pri nižim razinama vode u jezeru, niža je i razina podzemnih voda, ali se poradi stvorene depresije oko jezera granice podzemne razvodnice pomiču dalje od jezera (položaj 2). Ujedno se u krškoj podlozi ispod otoka u smjeru jezera pomiče zona



miješanja slatke i slane vode, te se jezero dijelom prihranjuje i podzemnim putem iz rasprostranjena krškog akvifera ispod otoka.

Pretpostavljena je i situacija 3, kad se nakondugotrajnijih suša približno izjednačuje razina u jezeru i maksimalna razina podzemnih voda u okolnome krškom masivu. Tada je moguće i direktnije pražnjenje jezera putem krškoga podzemlja prema moru. Paralelno sa snižavanjem razine povlači se i zona kontakta slane i slatke vode prema jezeru, te se tako potisnutim vodama usporava brže opadanje razine jezera i u izrazito sušnim situacijama.

Crpljenje iz jezera element je koji unosi neravnotežu u sustav "disanja" Vranskog jezera, a koja se onda dijelom uravnotežava sniženjem razine Vranskog jezera, dijelom povećanim prihranjivanjem podzemnim vodama iz gornjih zona krškog masiva (podzemna razvodnica se pomiče od jezera), a dijelom i povećanim prihranjivanjem podzemnim vodama iz zone podzemnog dijela krškog akvifera ispod samog otoka. Opasnosti od precrpljivanja iz jezera nema dok god je razina jezera u stanju podzemnugranice slane i slatke vode držati u ravnoteži dovoljno dalekood jezera i ispod samoga jezera. Zbog nehomogenosti okršenja vapnenačkog masiva, ta granica nije oštra već je jedna širu zonu miješanja slane i slatke vode, te stoga treba biti daleko oprezniji pri ocjeni mogućeg dopuštenoga sniženja razine jezera.

Vrtačasto udubljenje na dnu Vranskog jezera, s kotom dna na cca 61 m ispod razine mora, moguće je čini zonu najizraženijih komunikacija voda jezera i njegova okolnoga podzemlja podzemlje je tu jezerom najviše otvoreno, te su i otpori tečenju najmanji. Pri "disanju" jezerskoga sustava u razdobljima recesije voda iz dubokih zona krškog akvifera dijelom prihranjuje jezero, a pri vodnijim stanjima moguće je da jezero, dijelom i u zoni tog udubljenja, prihranjuje duboke dijelove podzemlja.

Slika 2 samo je pojednostavljen teoretski shematski prikaz mogućeg mehanizma "disanja" Vranskog jezera i njegova krškog akvifera, ali je s obzirom na temelju raspoloživih podloga analiziranoga ponašanja jezera i dosad najprihvatljiviji. Prava fizička slika stanja prvenstveno ovisi o položaju i hidrogeološkim karakteristikama stijenskih podloga, te intezitetu i dubini okršenosti. Moguće je da se kontakt mora i slatke vode odvija samo u bočnim zonama akvifera, te zbog toga na danoj slici 2 nije zatvorena granica zona slatke i slane vode ispod jezera. No, u uvjetima eventualnog precrpljivanja jezera, moguće je da bi povlačenjem zone slatke vode k samome jezeru došlo i do prodora mora i u zonu ispod jezera, pa čak u krajnjem slučaju i u jezero samo.

Za potpunije sagledavanje dinamike "disanja" krškog akvifera Vranskog jezera bilo bi neophodno da se uspostave piježometarska praćenja kolebanja razine podzemnih voda na dovoljnom broju hidrogeoloških profila Vransko jezero more. Nesumnjivo je da će tek opsežniji terenski radovi na istraživanju međuodnosa elemenata krškog akvifera (jezero podzemne vode more), kao i praćenju režima cirkulacije vode u jezeru, dati kompletniju fizikalnu sliku funkcioniranja jezerskog sustava, a vezano uz to i neki novi i kvalitetniji matematički model. No, već i izneseni koncept hidrološkog modela daje relativno zadovoljavajuću analitičku prognozu ponašanja Vranskog jezera u domeni promotrene amplitude njegovih vodostaja, ali i potrebne smjernice za planiranje takvih budućih istražnih radova.

3. Hidrološka ocjena rezultata provedenih izotopskih istraživanja

U sklopu posljednjeg elaborata o hidrogeološkim istražnim radovima (13), sadržani su s aspekta iznesenih hidroloških konceptualnih postavki posebno interesantni rezultati istraživanja prirodnih izotopa jezerske mase, koje su na Vranskom jezeru u

okviru Europskog COST projekta proveli stručnjaci Instituta za nuklearna istraživanja iz Debrecina u Mađarskoj. Uzorkovanja i analize provedeni su u dva navrata, a iz elaborata (13) prenosimo dana zapažanja:

"Analize izotopa kisika i vodika pokazuju nepromjenjivost kroz cijelu jezersku masu s vrijednostima karakterističnim za vodne mase podvrgnute procesu evaporacije, vrijednosti otopljenog anorganskog ugljika (DIC) da se radi pretežito o unosu iz atmosfere, vrijednosti tricija da se radi o relativno starijim padavinskim vodama, vrijednosti radioaktivnog ugljika da je samo manji dio unosa vode vezan za krško podzemlje i vrijednosti radona da se radi o pretežito površinskim vodama. Temeljem ispitivanja prirodnih izotopa jezerske mase može se zaključiti da se radi o pretežitom unosu vode u jezero kroz padaline na samoj površini i malom udjelu podzemnih krških voda." Iako autori tog rada kao nositelji hidrološkoga dijela programa istražnih radova nisu imali prilike aktivnije sudjelovati pri suradnji na spomenutim izotopskim ispitivanjima, već i iz samo ovako iznesenih zapažanja o tim rezultatima ocjenjuju da je njima dana izuzetno čvrsta neovisna potvrda rezultata provedenih hidroloških istraživanja, kao i danih postavki modela lokalnog funkcioniranja sustava akvifera Vranskog jezera.

4. Primjena hidrološkoga modela na ocjenu utjecaja crpljenja

Definiranje hidrološkog modela funkcioniranja jezera kako matematičkoga, tako i njegova fizikalnoga koncepta, od posebna je značenja za gospodarenje jezerom u smislu ocjene utjecaja crpljenja na sniženje razine jezera. Naime, crpljenje vode iz jezera izaziva i sniženje srednje razine jezera, a time se pak smanjuju i gubici iz jezerskog akvifera. Na toj novouspostavljenoj ravnoteži temelji se i pretpostavka dopuštenih crpljenja iz jezera, tj. sa hidrološkog stanovišta može se dozvoliti povećanje crpljenja iz jezera samo do mjere do koje će tako snižena minimalna razina Vranskog jezera biti u stanju održati dovoljan nadpritisak slatke vode intenzivnijem prodoru slane vode u jezero.

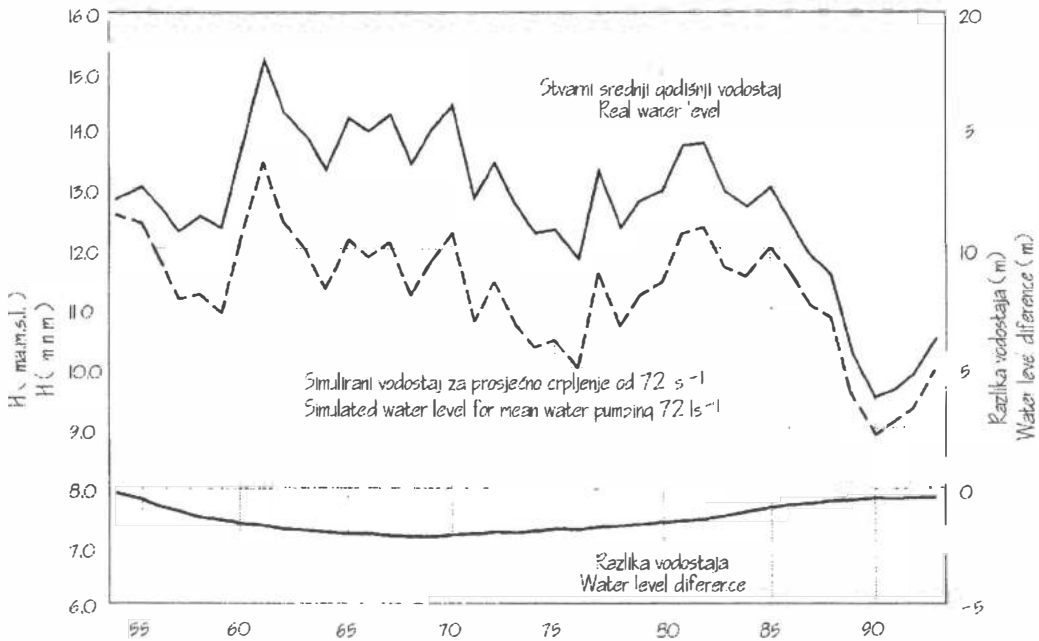
Dosad provedene hidrološke analize (5), (6), (7), (9), (10), (12), (14) potvrdile su nesumnjiv utjecaj crpljenja na postojeće sniženje razine jezera. U ovom radu takve su ocjene proširene primjenom matematičkoga hidrološkog modela na razmatranje mogu li postojeće količine crpljenja nastaviti trend daljnjega opadanja razine jezera, ili je pak dosegnuta stabilizacija međuodnosa količine crpljenja i s njime povezana pada razine jezera.

Analiza je provedena tako da je simulirano ponašanje jezera u uvjetima da su za razdoblje od 1954. g. (kad je naselje Cres dobilo vodu) do zaključno 1993. g. za svaku godinu pretpostavljena crpljenja na razini dosad zabilježenih maksimalnih godišnjih količina crpljenja iz 1986. g., kad su ona iznosila 2,264 mil. m³ godišnje, odnosno prosječno 72 ls⁻¹. Mjesečna raspodjela crpljenih količina određena je prema prosječnim mjesečnim udjelima iz razdoblja dosad najintenzivnijih godišnjih crpljenja (1985.-1990.). Za spomenuti je da je u razdoblju do zaključno 1993. g. iz jezera iscrpljeno ukupno cca 38 mil. m³ vode.

Rezultati provedene simulacije dani su u tablici 1, kao i na slici 3. Zabilježeni stvarni srednji godišnji vodostaj na kraju simulacije 1993. g. iznosio je 10.55 m.n.m., a simulirani uz godišnja crpljenja od 72 ls⁻¹ 10.00 m.n.m.. Iz datih prikaza razlika vrijednosti stvarnih i simuliranih godišnjih vodostaja, vidljivo je da je u posljednjih nekoliko godina postignuta stabilizacija tako dobivenih razlika vodostaja.

Tablica 1. HIDROLOŠKI PARAMETRI I REZULTATI SIMULACIJE
Table 1. REAL AND SIMULATED HYDROLOGICAL PARAMETERS

GODINA	OBORINE	SREDNJA GODIŠNJA CRPLJENJA	STVARNI SR. GODIŠNJI VODOSTAJ	SIMULIRANI VODOSTAJ UZ CRPLJENJE OD 72 ls ⁻¹	RAZLIKA VODOSTAJA
	(mm)	(ls ⁻¹)	(m.n.m.)	(m.n.m.)	(m)
1954.	919	nema podataka	12.83	12.57	-0.26
1955.	1137		13.06	12.46	-0.59
1956.	745		12.73	11.87	-0.86
1957.	1003		12.28	11.17	-1.11
1958.	998		12.56	11.27	-1.29
1959.	1136		12.35	10.89	-1.46
1960.	1743		13.86	12.27	-1.59
1961.	1017		15.19	13.50	-1.69
1962.	969		14.31	12.49	-1.82
1963.	986		13.88	11.96	-1.92
1964.	1127		13.30	11.33	-1.97
1965.	1139		14.22	12.18	-2.04
1966.	1241		13.96	11.88	-2.08
1967.	813		4	14.27	12.13
1968.	1031	5	13.42	11.22	-2.20
1969.	1407	21	13.99	11.82	-2.17
1970.	1033	21	14.42	12.32	-2.10
1971.	965	24	12.85	10.75	-2.10
1972.	1199	23	13.48	11.46	-2.02
1973.	802	25	12.73	10.74	-1.99
1974.	1290	26	12.29	10.33	-1.96
1975.	914	29	12.38	10.49	-1.89
1976.	1369	31	11.85	9.99	-1.86
1977.	1203	36	13.35	11.62	-1.73
1978.	1136	37	12.37	10.69	-1.68
1979.	1474	36	12.84	11.24	-1.60
1980.	1209	39	13.02	11.46	-1.56
1981.	1420	48	13.75	12.29	-1.46
1982.	942	51	13.79	12.41	-1.38
1983.	728	58	13.01	11.74	-1.27
1984.	1448	59	12.70	11.54	-1.16
1985.	910	69	13.09	12.06	-1.03
1986.	834	60	12.57	11.67	-0.90
1987.	1095	72	11.97	11.16	-0.81
1988.	918	67	11.59	10.85	-0.74
1989.	715	66	10.29	9.62	-0.67
1990.	883	71	9.50	8.91	-0.59
1991.	977	53	9.62	9.06	-0.56
1992.	1198	56	9.91	9.35	-0.56
1993.	1026	57	10.55	10.00	-0.55



To znači da dugogodišnja crpljenja reda veličine dosadašnjih godišnjih maksimalnih količina, osim sniženja srednje razine jezera za cca 0.5 m, neće utjecati na daljnje trendove sniženja razine vode u Vranskom jezeru. Prema tome, postignuta je stabilizacija, te u datim hidrološkim uvjetima nema nikakvih bojazni od mogućeg precrpljivanja jezera sadašnjom razinom maksimalne potrošnje vode iz jezera.

6. Zaključci

U danom je radu prikazan hidrološki koncept modela funkcioniranja Vranskog jezera i njegova pripadajućeg otočkog akvifera. Tako postavljen model, definiran na osnovu raspoloživih podloga, ima trojaku ulogu:

- Obvezuje planirani nastavak istražnih radova da u svim segmentima istraživanja respektira funkcioniranje lokalnog otočkog akvifera.
- Omogućuje gospodarenje jezerom u smislu procjena ponašanja jezera s obzirom na pale oborine i druge hidrološke prilike. Hidrološkim modelom moguće je u domeni osmotrenih i njima bliskih vodostaja analitički procijeniti i mogući utjecaj povećanja crpljenja na kolebanje razine jezera.
- Ukazuje na lokalno funkcioniranje jezera, te time još više naglašava imperativnu potrebu da se mjere djelotvorne zaštite kvalitete voda Vranskog jezera, prvenstveno od stalne opasnosti pojave incidentnoga zagađenja sa prometnice Cres-Lošinj, osiguraju čim prije.

7. Literatura

1. Baturić, J., Magdalenić, A., Gregl, T., Jurak, V., 1972. Djelomična potvrda Herzbergovog zakona u primorskom kršu. Zbornik radova 2. jugoslovenskog simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, Sarajevo.
2. Mijatović, B., 1974: Problematika zaslanjivanja kaptaza izdanskih voda u primorskim krškim akviferima. Zbornik radova 3. jugoslovenskog simpozijuma hidrogeologa i inženjerskih geologa, Opatija.
3. Linsley, R. K., Kohler, M.A., Paulus, J.L.H., 1983: Hidrology for Engineers. Mc GrawHill, Tokyo, 197-198.
4. Golubić, S., 1989: Hidrogeološki istražni radovi u svrhu optimalne eksploatacije vode iz Vranskog jezera na otoku Cresu. Fond dokumentacije "INA-projekt", Zagreb.
5. Rubinić, J., Ožanić, N., 1992: Hidrološke karakteristike Vranskog jezera na otoku Cresu. Građevinar 44, Zagreb.
6. Bonacci, O., 1992: Istraživanja u hidrologiji hrvatskog krša jezero Vrana na otoku Cresu. Fond dokumentacije "Građevinskog fakulteta", Split.
7. Pavlečić, I., Gostović, J., 1992: Vransko jezero na Cresu Problem bilansa jezera s osvrtnom na dosadašnja rješenja. Fond stručne dokumentacije " Državnog hidrometeorološkog zavoda ", Zagreb.
8. Biondić, B., Ivičić, D., Prelogović, E., 1993: The Hidrology of the Lake of Vrana the Cres Island. Proceedings of the internacional symposium "Geomorfology and Sea", Mali Lošinj, 2226.
9. Bonacci, O., 1993: The Vrana lake hydrology (island of Cres Croatia), Water resources bulletin AWRA, U.S.A.
10. Ožanić, N., 1994: Hidrologija jezera Vrana na otoku Cresu. Magistarski rad. Građevinski fakultet sveučilišta u Zagrebu, Rijeka.
11. Rubinić, J., Ožanić, N., 1994: Hidrološka istraživanja Vranskog jezera 1993. godina. Fond dokumentacije JVP istarskih slivova, Labin.
12. Ožanić, N., Rubinić, J., 1994: Gospodarenje vodama Vranskog jezera na otoku Cresu stanje i mogućnosti. Zbornik radova sa simpozija "Strategija razvitka hrvatskih otoka". Hvar.
13. Biondić, B., Hapelj, S., Mesić, S., 1994: Hidrologija Vranskog jezera na otoku Cresu. Fond dokumentacije "Institut za geološka istraživanja". Zagreb.
14. Ožanić, N., Rubinić, J., 1994: Analiza hidrološkog režima Vranskog jezera na otoku Cresu. "Hrvatske vode br. 8". Zagreb.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Danko Biondić

R 5-05

Morfološke prognoze korita Save kod Zagreba

SAŽETAK: U članku je prikazano matematičko modeliranje morfološko-psamoloških procesa na dionici rijeke Save kroz grad Zagreb. Veća odstupanja u oblicima raspoloživih granulometrijskih krivulja geološke osnove i psamoloških ulaza onemogućila su jednoznačan razvitak modela, te su stoga razvijena dva granična modela čiji rezultati simulacija trebaju predstavljati anvelope unutar kojih se može očekivati stvarno stanje. Modeli su ostvareni na osnovi općega matematičkog simulacijskog modela "HEC-6" razvijena u SAD-u, a njihova je koncepcija takva da omogućuju kontinuirane aktualizacije s novim ulaznim podacima. Na sadašnjem stupnju razvitka mogu se koristiti za preliminarne prognoze utjecaja različitih čimbenika na morfološko-psamološke značajke dionice rijeke Save od VP "Podsused-Žičara" do VP "Rugvica".

KLJUČNE RIJEČI: Sava, Zagreb, morfološko-psamološke promjene, model "HEC-6"

Morphological Forecasts for the Sava River Channel Near Zagreb

Abstract: The paper describes mathematical modelling of morphological and psammological processes on the Sava River stretch through the City of Zagreb. The major deviations in shape of the available granulometric curves and psammological inputs impeded unambiguous development of the model. Therefore, two boundary models were developed whose simulation results should be considered envelopes within which the actual situation is expected. The models were prepared on the basis of the general mathematical simulation model HEC-6 developed in the USA, and their concept was to enable continuous updating with the new input data. At the present level of development they can be used for preliminary forecasts of impact of various factors on the morphological-psammological characteristics of the Sava River stretch between the Gaging Stations Podsused-Žičara and Rugvica.

KEY WORDS: the Sava River, the City of Zagreb, morphological-psammological changes, HEC-6 model

Uvod

Rezultati dosadašnjih opažanja morfološko-psamoloških značajki rijeke Save na njezinoj dionici kroz grad Zagreb ukazali su na vrlo izražene trendove sniženja dna riječnoga korita na pojedinim potezima, smanjenja dotoka vučenoga nanosa, te smanjenja karakterističnih promjera zrna nanosa na riječnome dnu. Spomenute pojave naročito su uočljive posljednjih dvadesetak godina, a kao njihova direktna posljedica pojavljuju se trendovi sniženja minimalnih godišnjih vodostaja na vodomjernim postajama predmetnoga područja. Sniženja korita Save dijelom utječu i na uočene trendove sniženja nivoa podzemnih voda u vodonosniku iz kojeg se Zagreb opskrbljuje pitkom vodom.

Sustavna istraživanja uzroka takvih pojava provedena su prije desetak godina (lit. 2) i rezultirala su općim zaključkom da su glavni razlozi uočenim promjenama dugotrajni i opsežni protuerozijski radovi u gornjem dijelu sliva, regulacijski radovi u riječnom koritu, te izgradnja obrambenih nasipa uzduž Save i njezinih glavnih pritoka. U takvim uvjetima rijeka je nezasićena nanosom, te stoga erodira i pronosi nanos iz vlastitog korita. Eksploatacija šljunka na predmetnoj riječnoj dionici također nepovoljno utječe na opisane trendove, no ona ipak nije dominantna za generalni razvoj pojave (lit. 2). Potrebno je istaknuti da su stručnjaci već tada upozorili da za cjelovito proučavanje opisanih pojava ne postoji odgovarajući monitoring, čime je znatno otežano donošenje preciznijih zaključaka. Posljednjih desetak godina uočeni su trendovi nastavljeni, a opseg opažanja i mjerenja, koji ni ranije nije bio zadovoljavajući, još je više reduciran.

Suvremeni znanstveno-istraživački pristup u proučavanju opisane problematike zasniva se na matematičkom modeliranju morfološko-psamoloških procesa, te zatim na sustavnim analizama i prognozama pojava pomoću razvijenoga modela. Prva faza takvih aktivnosti koja obuhvaća razvitak modela prikazana je ovim radom.

Na predmetnoj dionici Save onemogućeno je jednoznačno modeliranje spomenutih procesa zbog većih odstupanja u oblicima raspoloživih granulometrijskih krivulja geološke osnove i psamoloških ulaza, te je stoga jedini racionalan pristup razvitak dva granična modela čiji rezultati simulacija trebaju biti anvelope unutar kojih se može očekivati stvarno stanje. Prostornim granicama modeliranja obuhvaćena je riječna dionica od VP "Podsused-Žičara" (stac. 714+266 r.km) do VP "Rugvica" (stac. 673+400 r.km). Za potrebe razvitka opisanih modela korištena je raspoloživa informacijska osnova prikupljena iz različite studijske i projektne dokumentacije, uz opasku da su modeli koncipirani na takav način da tijekom primjene u inženjerskoj praksi pružaju mogućnost kontinuiranih aktualizacija s novim ulaznim podacima.

Odabir općega matematičkog modela

U svijetu je dosad razvijen, testiran i primjenjivan veći broj matematičkih modela, kojima se morfološko-psamološki procesi u prirodnome vodotoku simuliraju s različitim uspjehom. Uglavnom se radi o jednodimenzionalnim modelima dvofaznoga strujanja (voda + nanos), koji mogu biti stacionarni ili nestacionarni. Nedostatak svih tih modela leži u činjenici da suvremena hidraulička znanost još uvijek nije potpuno teorijski obradila problem dvofaznoga turbulentnog tečenja u prizmatičnom koritu s pokretnom konturom, te se stoga modeliranja zasnivaju na različitim empirijskim izrazima.

Određenu nepouzdanost u rezultatima simulacija nerijetko stvaraju i nedovoljno kvalitetni ulazni podaci. To se prije svega odnosi na podatke koji čine geološku

osnovu modela, te na psamološke ulazne podatke. Oni su često opterećeni velikim greškama i uglavnom ih nema u zadovoljavajućem opsegu.

Poznavanjem činjenica o primjeni empirijskih izraza prilikom modeliranja, te o nedovoljnoj kvaliteti ulaznih podataka, nameće se pragmatičan zaključak da je za simulacije povoljnije koristiti neki jednostavniji stacionaran model, nego bilo koji znatno složeniji nestacionaran. Prilikom odabira komercijalnoga matematičkog modela koji će biti osnova za modeliranje postavlja se i dopunski zahtjev da takav model mora biti priznat i referentan u svijetu.

Za modeliranje morfološko-psamoloških procesa na dionici Save kroz Zagreb odabran je opći matematički simulacijski model za kontinuirane simulacije ispiranja i taloženja nanosnoga materijala u riječnim koritima i akumulacijskim bazenima "HEC-6", razvijen u "US Army, Corps of Engineers, The Hydrologic Engineering Center", Davis, SAD i kasnije uspješno korišten na veliku broju različitih studijskih i projektnih aktivnosti širom svijeta. Njegova dosadašnja primjena u našoj zemlji bila je prilikom izrade različite dokumentacije za postojeće i planirane hidroenergetske objekte na rijeci Dravi, te prilikom identifikacije utjecajne zone podvodnoga regulacijskog praga u koritu rijeke Save kod "TE-TO, Zagreb" (lit.3). Prilagođen je za korištenje na PC kompatibilnim računalima.

Odabrani je model jednodimenzionalan i stacionaran, a zasniva se na modeliranju interakcija između hidrauličkih i psamoloških značajki toka, te karakteristika materijala koji formira riječno korito. Strukturno se sastoji od komponente za određivanje hidrauličkih karakteristika riječnoga toka i komponente za određivanje promjena geometrijskih karakteristika poprečnih presjeka, čije zajedničko djelovanje daje konačan rezultat u svakom vremenskom inkrementu simulacije.

Razvitak matematičkih simulacijskih modela

Nemogućnost jednoznačna modeliranja predmetne dionice Save uvjetovala je razvitak dva granična modela čiji su rezultati simulacija anvelope unutar kojih se može očekivati stvarno stanje. Ti modeli (gornja i donja anvelopa) odabrani su između osam različitih razvijenih modela kojima su obuhvaćene sve moguće varijante:

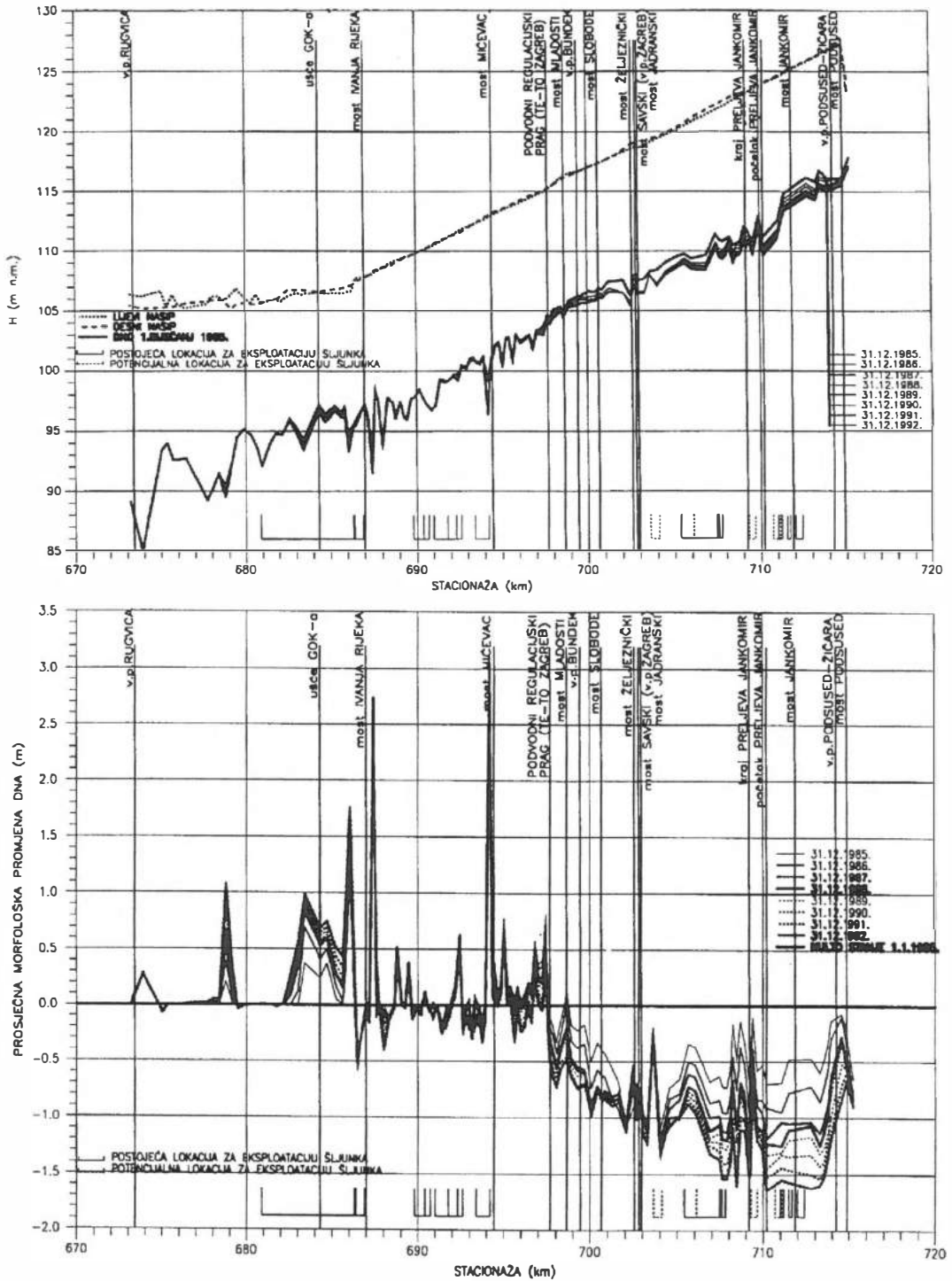
a)dvije varijante geološke osnove (sitnozrna i krupnozrna)

b)dvije varijante psamološkoga ulaza (sitnozrni i krupnozrni)

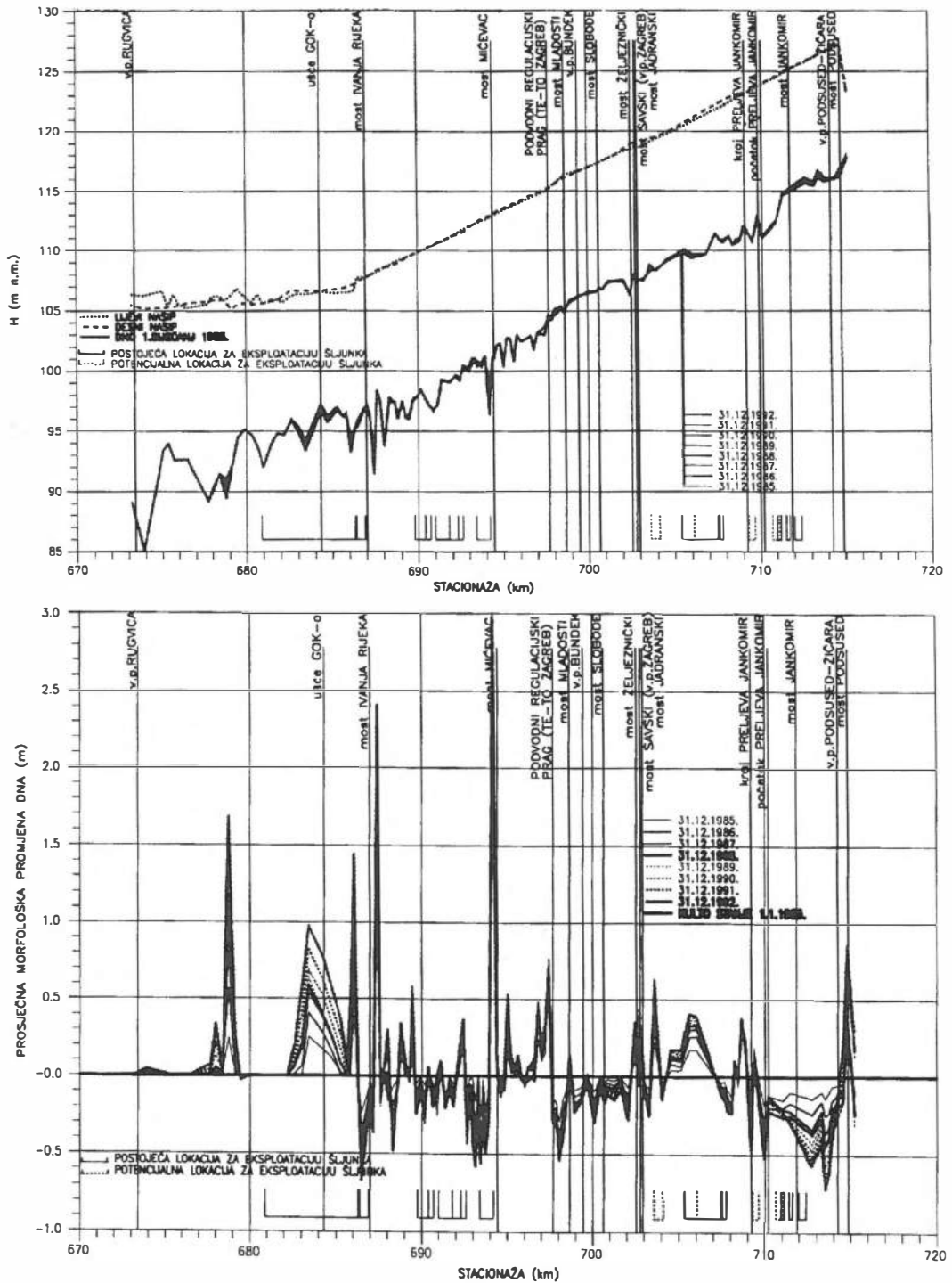
c)dvije različite metode određivanja potencijalnoga transportnog kapaciteta riječne dionice za pojedine frakcije veličine zrna (Toffaletijeva primjena Einsteinove funkcije težine nanosnoga materijala i Maddenova modifikacija Laursenove funkcije za široke rijeke) (lit.1)

Odabir graničnih modela izvršen je na osnovi rezultata kontinuiranih simulacija sa srednjim dnevnim protocima izmjerenim na VP "Zagreb" u razdoblju od 1.siječnja 1985. do 31.prosinca 1992. godine, prema kriterijima najboljih poklapanja odgovarajućih simuliranih i izmjerenih veličina vodostaja i oblika poprečnih presjeka na određenim lokacijama. Odabrani modeli su "SSM" (sitnozrna geološka osnova, sitnozrni psamološki ulaz, Madden) za donje granično stanje (slika 1.) i "KK" (krupnozrna geološka osnova, krupnozrni psamološki ulaz, Toffaleti) za gornje granično stanje (slika 2.). Analize dobivenih rezultata ukazale su na činjenicu da je model "SSM" znatno bliži stvarnome stanju. Početnu geometrijsku osnovu oba modela čine raspoloživi poprečni presjeci snimljeni 1985. godine.

Postojeći hidrotehnički objekti na predmetnoj dionici Save, kao ni eksploatacija šljunka nisu modelirani u ovoj fazi razvitka modela. Bočni preliv "Jankomir" nije



Slika 1. Simulirane morfološke promjene rijeke Save kod Zagreba - model "SSM"
 Fig. 1. Simulated morphological changes in the Sava river near Zagreb - model "SSM"



Slika 2. Simulirane morfološke promjene rijeke Save kod Zagreba - model "KK"

Fig. 2. Simulated morphological changes in the Sava river near Zagreb - model "KK"

uključen jer su simulacije vršene s protocima zabilježenim na nizvodnoj VP "Zagreb", a podvodni regulacijski prag kod "TE-TO, Zagreb" zbog velikih promjena njegovih tehničkih karakteristika tijekom razdoblja od 1985. do 1992. godine koje su izazvane različitim havarijama, sanacijama i rekonstrukcijama. Eksploatacija šljunka, nije modelirana zbog nepoznavanja točnih kontinuiranih nizova dnevnih podataka o količinama šljunka koje su se tijekom razdoblja simulacije vadile na pojedinim lokacijama. Time su učinjene određene greške, koje se ipak mogu zanemariti u usporedbi s greškama koje mogu nastati poradi nepouzdanih psamoloških i geoloških podloga. Postojeći mostovi su uključeni u modele kao lokalni gubici energije na odgovarajućim lokacijama.

Nedostatak dovoljnoga broja rezultata geodetskih izmjera poprečnih presjeka nakon 1985. godine (osim na lokacijama gdje DHMZ vrši vodomjerenja) i nedostatak kvalitetnijih geološko-psamoloških ulaznih podataka onemogućio je provedbu kvalitetnije kalibracije morfološke komponente modela. Kalibracija hidrauličke komponente izvršena je vrlo precizno na osnovi protočnih krivulja DHMZ-a definiranih na vodomjernim postajama uzduž predmetne riječne dionice za 1985. godinu. Detaljan opis razvitka i kalibracije, te postupka odabira graničnih modela dan je u (lit.3).

Zaključak

Ostvareni granični modeli morfološko-psamoloških procesa u koritu rijeke Save na dionici kroz grad Zagreb razvijeni su na osnovi raspoložive informacijske osnove koja ne sadrži dovoljan opseg podataka i informacija za precizniju provedbu kalibracije morfološke komponente. Stoga ovaj stupanj razvitka modela treba smatrati početnom fazom koju će biti moguće kontinuirano dopunjavati i aktualizirati usporedno s provedbama različitih istražnih radova. Svaka nova dopuna ili aktualizacija povećat će pouzdanost primjene u inženjerskoj praksi.

No, bez obzira na sve spomenute nedostatke, ostvareni modeli i na sadašnjem stupnju svog razvitka omogućuju preliminarne prognoze utjecaja:

- a) postojećih hidrotehničkih objekata
- b) planiranog višenamjenskoga hidrotehničkog sustava i dinamike njegove realizacije
- c) eksploatacije šljunka
- d) promjene dotoka nanosnog materijala na VP "Podsused-Žičara"

na promjene morfološko-psamoloških značajki riječnoga korita, te preliminarno određivanje daljnjih mogućnosti eksploatacije šljunka (potencijalne lokacije i količine) uzduž predmetne riječne dionice.

Ovu fazu razvitka modela treba shvatiti i kao poticaj za daljnja istraživanja vrlo intenzivnih morfoloških promjena riječnoga korita Save na području grada Zagreba.

Literatura

1. Bonacci, Ognjen, Trninić, Dušan: "Analiza uzroka i prognoza promjena vodostaja Save i nivoa podzemnih voda u okolici Zagreba", "Vodoprivreda 18, 100-101 (1986/2-3)", str. 95-101, Split, Zagreb, 1986.
2. "HEC-6; scour and deposition in rivers and reservoirs, Users manual", "The Hydrologic Engineering Center, US Army, Corps of Engineers", Davis, SAD, ožujak 1977.
3. "Identifikacija utjecajne zone podvodnog regulacijskog praga u koritu rijeke Save kod "TE-TO, Zagreb"", "Institut za elektroprivredu i energetiku", Zagreb, 1994.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Krešimir Plantić, Irena Pavić, Jozo Penavić

R 5-06

Iskustva, stanje i razvoj baza podataka za područje vodnih resursa u Republici Hrvatskoj

SAŽETAK: *Razvoj ove problematike obuhvaća višegodišnje potrebe Hrvatske vodoprivrede i elektroprivrede za brzo i lako dostupnim hidrološkim podacima pri planiranju, razvoju i upravljanju hidroenergetskim objektima.*

Osnovni je cilj projekta uspostava jedinstvene baze podataka sa svih hidroloških postaja u Hrvatskoj, s mogućnošću dnevne, mjesečne, godišnje i višegodišnje rezolucije podataka uz standardne i dopunske hidrološke obrade. Daljnji razvoj projekta uspostava je relacijskih hidrometeoroloških baza po slivnim područjima na osobnim računalima, kako bi izmjereni podaci, hidrološke obrade i grafički prikazi podataka i rezultata obrada bili u realnom vremenu dostupni svim korisnicima.

Na taj bi se način stvorila realna osnova za primjenu simulacijskih modela otjecanja i prognoze dotoka na kontrolnim profilima sliva, neophodnih za planiranje, upravljanje i optimalizaciju hidrosustava.

KLJUČNE RIJEČI: *Hidrološki informacijski sustav, Banka hidroloških podataka, hidrološka obrada*

Experience, Status and Development of the Databases on the Croatian Water Resources

ABSTRACT: *The Croatian Water Authority and the Croatian National Electricity both have for a long time needed quickly and easily accessible hydrological data for planning, development and management of the hydropower plants and schemes.*

The basic objective of this project is to establish an integrated database for the data from all gaging stations in Croatia. Such database should enable daily, monthly, annual and multi-annual data resolutions, and their standard and additional hydrological processing. In future, the project intends to set interrelated PC operable hydro-meteorological databases for individual catchment areas. In this way the recorded data, hydrological processing and graphical presentation of data and processing results would be accessible to all the users in real time.

In this way, the realistic basis would be created for application of runoff simulation models and inflow forecasts for the regulated catchment profiles, as required for planning, management and optimization of hydropower systems.

KEY WORDS: *hydrological information system, hydrological databank, hydrological processing*

Krešimir Plantić, dipl. ing., Irena Pavić, dipl. ing., Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb

Jozo Penavić, dipl. ing., JVP Hrvatska vodoprivreda

Uvod

Za vodno gospodarstvo je pri upravljanju, održavanju i izgradnji novih objekata od presudna značenja poznavanje hidrološke situacije na svakom pojedinom slivu. Zbog toga nije dovoljno samo mjerenje i arhiviranje izmjerenih podataka na terenu, već i njihovo sustavno pohranjivanje, ažuriranje, pretraživanje i obrada, uz mogućnost dostupa svim potencijalnim korisnicima.

Ovi su ciljevi u Hrvatskoj ostvareni razvojem HIS-a (Hidrološki informacijski sustav), čiji sastavni dio čini BHP (Banka hidroloških podataka).

U Europi se već početkom devetnaestoga stoljeća započelo sa sustavnim opažanjem i bilježenjem hidroloških podataka. Austro-Ugarska je monarhija među prvim zemljama uspostavila mrežu vodomjernih postaja na svojim vodotocima, a prve postaje utemeljene su u Beču i Budimpešti na Dunavu. Kako je Hrvatska oduvijek pripadala zapadnoj civilizaciji, tako su nedugo nakon postaja na Dunavu, uspostavljene i vodokazne postaje na rijekama Savi, Dravi i Dunavu na području Hrvatske.

Prva vodokazna postaja u Hrvatskoj utemeljena je 1817. godine na Savi kod Stare Gradiške. Zatim slijedi utemeljenje postaja na Dravi, Varaždin 1821. i Osijek 1827. godine, a na Savi Zagreb 1849. godine. Od utemeljenja sve te postaje rade kontinuirano do naših dana s manjim prekidima u toku ratnih zbivanja. Ovako dugi nizovi hidroloških opažanja postoje u Europi samo na najvećim rijekama Njemačke, Francuske i Engleske.

Nakon utemeljenja prvih postaja, uspostavljaju se mnoge nove, naročito poslije Drugoga svjetskog rata u pedesetim godinama. Prikupljeni podaci sa svih postaja arhivirani su u Državnom hidrometeorološkom zavodu i publicirani u hidrološkim godišnjacima. Zadnji takav godišnjak izdan je za bivše SFRJ 1986. godine. Nažalost, od tada nije publiciran ni jedan godišnjak koji se mogao razmijeniti sa susjednim državama, kako je to uobičajeno u Europi.

Razvoj HIS-a (hidrološkog informacijskog sustava)

Ubrzo nakon pojave računarske tehnologije, započelo je njezino korištenje i u hidrologiji budući da su hidrološki podaci kao vremenski nizovi vrlo pogodni za obradu na računalima. U Hrvatskoj je sredinom sedamdesetih godina radena sveobuhvatna hidrološka studija sliva rijeke Save i tada su započele organizacijske pripreme za utemeljenje VIS-a (Vodoprivredni informacijski sistem), koji je trebao imati bazu za sve relevantne informacije o vodnom gospodarstvu. Dosad je, nažalost, ostvaren jedino HIS kao dio VIS-a i to u suradnji Državnog hidrometeorološkog zavoda, Hrvatske vodoprivrede, Hrvatske elektroprivrede i Instituta za elektroprivredu i energetiku.

Od 1972. godine započinje i kod nas računalni unos i obrada prikupljenih hidroloških podataka. Mreža hidroloških postaja podijeljena je na tri slivna područja: Sava, Drava i Kupa, i tri zemljopisna područja: Dalmacija, Istra i Gorski Kotar, te Lika. Unutar ovih 6 područja sve postaje šifrirane su primjereno organizaciji Hrvatske vodoprivrede i elektroprivrede.

Početkom osamdesetih godina, kada je razvijena prva verzija, HIS je bio okosnica modernizacije temeljnih djelatnosti hidrološke službe tadašnjeg Hidrometeorološkog zavoda (HMZ), kao glavnoga nosioca svih aktivnosti na prikupljanju, obradi, arhiviranju i distribuciji hidroloških podataka.

Formiranjem (za ono vrijeme) suvremeno koncipirane baze hidroloških podataka, omogućeno je pohranjivanje raspoloživog fonda podataka s područja Republike Hrvatske kao i redovito punjenje baze novim podacima.

Razvijena programska osnova, kao sastavni dio HIS-a, omogućila je provedbu osnovnih i dopunskih hidroloških obrada svih prikupljenih podataka, sukladno općeprihvaćenim metodološkim pristupima i postupcima. Ujedno je omogućila i provjeru valjanosti, te kritičku analizu postojećeg fonda hidroloških podataka, kao i aktualizaciju hidroloških analiza za pojedina razdoblja obrade. Tehnološku osnovu HIS-a s kompletnom bazom hidroloških podataka činilo je računalo HP1000 u vlasništvu tadašnjeg HMZ-a.

S obzirom na tehnološku zastarjelost i ograničene mogućnosti spomenutoga računala, njegovu nekompatibilnost s računalima glavnih korisnika (elektroprivrednih i vodoprivrednih organizacija), kao i programski vremensku ograničenost postojeće banke na unos podataka do kraja 1990. godine, pokazalo se opravdanim izraditi novu banku hidroloških podataka za računala većih mogućnosti, dakako uz primjenu današnjih spoznaja.

Dogovorom predstavnika osnivača HIS-a, Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske, Hrvatske elektroprivrede, Hrvatske vodoprivrede i Instituta za elektroprivredu i energetiku, ovaj je zadatak povjeren Institutu.

Otkad je razvijena prva verzija HIS-a, izvršene su brojne dorade pojedinih programa radi unapređenja cjelokupnoga programskog paketa, kao i poboljšanja osnovnih obilježja i mogućnosti Banke hidroloških podataka (BHP).

Osnovne su prednosti sadašnje verzije HIS-a mogućnost dinamičkoga širenja BHP-a učitavanjem novih podataka, kao i starih nizova, lako i efikasno rukovanje programima, te vremenski neograničeno punjenje banke. Općenito, razvijena verzija HIS-a omogućuje brzo pretraživanje svih datoteka BHP-a, pregled i ažuriranje unesenih podataka, jednostavno listanje kompletnoga sadržaja banke, te standardnu i dopunsku hidrološku obradu.

Osnovne komponente HIS-a

Hidrološki informacijski sustav (HIS) sastoji se od tri osnovne komponente: tehnološke osnove, banke hidroloških podataka (BHP) i programske podrške.

Tehnološku osnovu predstavlja 32-bitno računalo, VMS operacijski sistem i minimum 100 MB diskovnog prostora.

Banka hidroloških podataka sastoji se od sedam radnih, direktno dostupnih datoteka u kojima se pohranjuju osnovni podaci o hidrološkim postajama, parametri protočnih krivulja, te dnevne, karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti vodostaja, protoka, temperature vode i ledostanje, kao i koncentracija i pronos suspendiranog nanosa. Podaci o historijatu hidroloških postaja arhiviraju se u sekvencijalne datoteke.

Programsku podršku sačinjavaju programi pisani u programskom jeziku FORTRAN, koji omogućuju osnovnu i dopunsku hidrološku obradu unesenih podataka.

Razvoj osnovne hidrološke obrade čini sustav za unos, ažuriranje i pregled osnovnih hidroloških veličina (vodostaj, protok, temperatura vode i ledostanje, kao i koncentracije suspendiranoga nanosa iz kojih se računa pronos nanosa), te listanje izlaznih izvještaja dnevnih, odnosno srednjih mjesečnih i godišnjih vrijednosti hidroloških veličina.

Programski paket za **dopunsku hidrološku obradu** temelji se na primjeni matematičke statistike i računu vjerojatnosti. Funkcionalno, programski paket za statističke obrade obuhvaća pet osnovnih grupa aktivnosti:

- (1) Prikaz mjesečnih i godišnjih karakterističnih vrijednosti s osnovnim statističkim parametrima,
- (2) Proračun maksimalnih volumena vodnih valova po trajanju i repernom protoku, deficita volumena i malovodnih perioda,
- (3) Proračun krivulja trajanja i učestalosti,
- (4) Analize homogenosti, trenda i vjerojatnosti pojave karakterističnih godišnjih i mjesečnih hidroloških veličina,
- (5) Analiza korelacije i višestruku linearnu regresiju.

Obradama su obuhvaćene dnevne vrijednosti ili se iz niza dnevnih vrijednosti formiraju vremenski nizovi karakterističnih, maksimalnih, minimalnih i srednjih mjesečnih i godišnjih vrijednosti, koji su uzorak na kojem se provode standardne statističke obrade primjenom klasičnih statističkih metoda i matematičkih postupaka.

Osnovni statistički parametri: prosječna vrijednost, standardna devijacija, koeficijent varijacije i koeficijent asimetrije računaju se metodom momenata kao procjena iz vrijednosti uzorka.

Prosječna krivulja trajanja i učestalosti, s anvelopama minimuma i maksimuma, mjesečne trajnosti i učestalosti, kao i trajnosti i učestalosti za pojedinačne godine računaju se iz niza dnevnih vrijednosti, uz prethodno izabranu veličinu klase hidrološke veličine i donju granicu najviše klase.

Maksimalni godišnji deficit volumena računa se kao najveća razlika između volumena izračunata ispod odabranog repernog protoka i volumena izračunatog iz zbroja diskretnih vrijednosti dnevnih protoka, manjih od repernog, izabranog kontinuiranog trajanja u danima.

Maksimalni godišnji volumen vodnih valova iznad repernog protoka računa se kao najveća razlika između volumena izračunata iz zbroja diskretnih vrijednosti dnevnih protoka većih od repernog protoka, u neprekinutom slijedu i volumena izračunata ispod izabranoga repernog protoka.

Malovodni periodi konstantnoga trajanja u danima računaju se tako da se iz skupa dnevnih vrijednosti za svaku kalendarsku godinu u izabranu razdoblju obrade formiraju sukcesivno, s pomakom od jednoga dana, nizovi podataka dužine izabranog trajanja. Za malovodni period izabranog trajanja usvaja se niz kod kojega je zadovoljen uvjet da je proračunati srednji protok niza minimalan.

Na isti se način računaju i maksimalni godišnji volumeni vodnih valova konstantnoga trajanja. Iz skupa proračunatih volumena vodnih valova izabranog konstantnog trajanja za svaku se kalendarsku godinu izdvaja maksimalni godišnji volumen izabranog trajanja.

Dakako, prije provedbe vjerojatnosnih analiza potrebno je ispitati da li formirani nizovi podataka ispunjavaju određene statističke uvjete, kao što su homogenost i stacionarnost.

Ispitivanje homogenosti karakterističnih mjesečnih i godišnjih vrijednosti provodi se korištenjem neparametarskog testa Smirnov-Kolmogorova za izabrani prag značajnosti.

Identifikacija trenda u nizovima karakterističnih mjesečnih i godišnjih vrijednosti provodi se računom izjednačenja po teoriji najmanjih kvadrata uz pretpostavljeni

linearni oblik trenda. Statistička značajnost trenda ispituje se Kendall-Stuartovim testom za izabrani prag značajnosti.

Vjerojatnost pojave karakterističnih hidroloških veličina računa se primjenom uobičajenih teoretskih funkcija raspodjele: Galton (log-normalna funkcija), Pearson 3, log-Pearson 3 i Gumbel (dvostruka eksponencijalna), uključujući i Gaussov normalni zakon, premda nema kvalitete primjenjivosti.

Parametari funkcija raspodjele populacije računaju se kao procjene iz vrijednosti uzorka (hidrološki nizovi).

Kvaliteta prilagodbe na opaženi uzorak ispituje se testom Smirnov-Kolmogorova i Pearsonovim χ^2 -testom za izabrani prag značajnosti. Rezultati ispitivanja kvalitete prilagodbe analiziranih funkcija empirijske raspodjele omogućuju izbor teoretske funkcije raspodjele koja se najbolje prilagođuje opaženu uzorku, te je kao takva najprihvatljivija.

Analiza višestruke linearne regresije od k nezavisnih varijabli svodi se na određivanje jednadžbe ravne regresijske plohe u $(k+1)$ dimenzionalnom prostoru uz pretpostavku normalne raspodjele varijabli. Za specificirane varijable (hidrološke postaje), godine opažanja, razdoblja unutar godine i raspon vrijednosti opažanja izabrane varijable, program formira skup opažanja iz kojeg se proračunava matrica kroskorelacionih koeficijenata i vektor srednjaka, koji služe proračunu svih parametara potrebnih za definiranje izabranih regresionih odnosa. Opažanja su ograničena na dnevne vrijednosti vodostaja, protoka i temperatura pohranjenih u BHP.

Zaključak

Današnja verzija Hidrološkog Informacijskog Sustava s cjelokupnom Bankom Hidroloških Podataka i jedinstvenom programskom podrškom operativna je na računalima VAX DHMZ-a, Hrvatske vodoprivrede, Hrvatske elektroprivrede i Instituta za elektroprivredu i energetiku, a preko modemske veze dostupna je svim korisnicima u Hrvatskoj i jedina je prava operativna baza takve vrste u ovom dijelu Europe.

U BHP su pohranjeni podaci dnevnih opažanja osnovnih hidroloških veličina (vodostaj, protok, temperatura vode i ledostanje, kao i koncentracije suspendiranog nanosa iz kojih se izračunava pronos nanosa) s preko 500 vodomjernih postaja Hrvatske, a nizovi se u DHMZ-u kontinuirano nadopunjuju.

Programska podrška HIS-a stalno se razvija i nadopunjuje novim obradama, sukladno potrebama korisnika. Jedan je od budućih zadataka razvoj programske podrške za unos i obradu satnih vrijednosti hidroloških veličina.

Gledajući određenu hidrološku postaju na slivnom području kao točku na vodotoku, sadašnji BHP je stacionaran. Stoga bi u budućnosti trebalo HIS povezati s GIS tehnologijom, kako bi se dobio kompletan pregled na cjelokupnom slivnom području. Na taj način stvorili bi se preduvjeti za operativno korištenje simulacijskih modela otjecanja, izradu kratkoročnih hidroloških prognoza dotoka na kontrolnim profilima sliva, odnosno realizacija modela upravljanja hidrosustavom u realnom vremenu.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Mitja Brilly, Andrej Vidmar

R 5-07

Vodoprivredni informacijski sistem Slovenije

SAŽETAK: *Potrebe vodoprivrede zahtijevaju, a razvoj informacijske tehnologije omogućava sustavnu obradu i skupljanje prostorno orijentiranih podataka za donošenje odluka. Osnova cjelokupnoga sistema uspostavljanje je šifranta hidrografskoga katastra zasnovana na nemačkoj metodologiji. Pomoću regionalnoga IHP projekta podunavskih zemalja za zajedničko kodiranje sliva Dunava uspostavljena je veza sa šifrantom Dunava i omogućeno povezivanje na međunarodnom nivou.*

Sistem je podijeljen na pojedine sklopove: registre i katastre. U radu su prikazani registar izvora i katastar objekata.

KLJUČNE RIJEČI: *vodoprivreda, informacijski sistem, kodiranje, hidrografija, izvori, objekti*

Water Management Information System of Slovenia

ABSTRACT: *The water resources management requires, and development of computer technology enables systematic processing and acquisition of spatial data required in the decision-making process. The complete system is based on setting a river network coding system based on the German methodology. Using the regional IHP project for the Danube-basin countries developed for universal coding of the Danube catchment the link is realized with the Danube coding system and an international linking enabled.*

The system is divided into registers and inventories. The paper presents the register of sources and the inventory of structures.

KEY WORDS: *water resources management, information system, encoding, hydrography, sources, structures*

1. Uvod

Potrebe vodoprivrede zahtijevaju, a razvoj informacijske tehnologije omogućava sustavnu obradu i skupljanje prostorno orijentiranih podataka za donošenje odluka. Pritome se srećemo s nizom problema vezanih uz prikupljanje podataka u različitim institucijama te njihovom zajedničkom obradom. Rješenje zahtijeva izradu projekta s posebnom analizom optimalnoga izbora informacijske opreme.

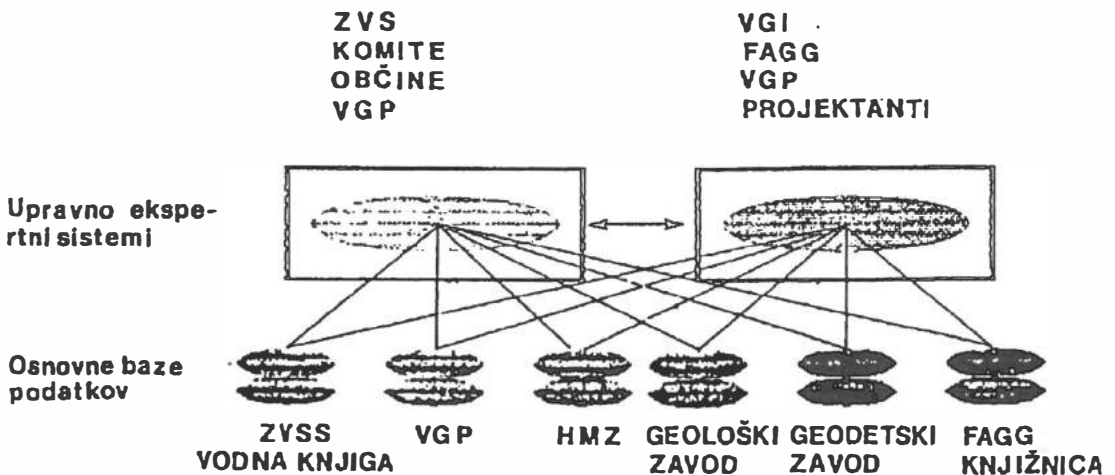
Razvoj je pojedinih registara i katastara poseban problem. Jednokratno skupljanje podataka i njihovo unošenje u računalo tek je početak posla. Osnovni problem je točnost podataka i njihovo održavanje, odnosno dopunjavanje.

Temelj je cjelokupnog sistema uspostavljanja osnovnoga hidrografskog katastra. Sistem mora biti uskladen s međunarodnom praksom zbog zajedničkih informacijskih sistema na međunarodnom i međudržavnim nivoima.

2. Osnove sistema

VGIS (Vodoprivredni informacijski sistem) utemeljen je prije niz godina kao distribuirani sistem koji povezuje niz institucija i organizacija koje djeluju na području vodoprivrede ili skupljaju podatke potrebne za donošenje odluka (slika 1). Podaci se prikupljaju u različitim organizacijama, za različite potrebe, po različitim standardima i u različitim oblicima. Integriranje podataka i njihova zajednička obrada zbog različitih standarda zahtijeva velika sredstva i rad te tako skupi i dragocijeni podaci često nisu dovoljno iskorišteni.

Postavljanje sistema zahtijeva prije svega postavljanje jasnih standarda pri izradi strukture podataka i definicije ključnih atributa za identifikaciju te klasifikaciju podataka. Za podatke koje koristimo u vodoprivredi karakteristična je prostorna orijentacija ili kartiranje podataka. Suvremena informacijska tehnologija s geografskim informacijskim sistemima (GIS) omogućava relativno jednostavnu obradu kartografskih podataka. Pritom se srećemo s nizom problema i neočekivanih teškoća. Jednostavnih recepata nema. Rješenja ovise o konkretnoj situaciji, raspoloživim podacima i sredstvima.



Slika 1. Osnovna shema infomracijskog sistema

Figure 1. Fundamental structure of the information system

Osnovna je zabluda da je dovoljno nabaviti opremu i početi s prikupljanjem podataka. Podaci su stvarno i do 90% troškova cjelokupnoga projekta, pritom nije važno samo skupiti podatke, nego brinuti i o održavanju baze te povećavanju točnosti podataka koji su u bazi. Baza bez definirane točnosti podataka nije uporabljiva.

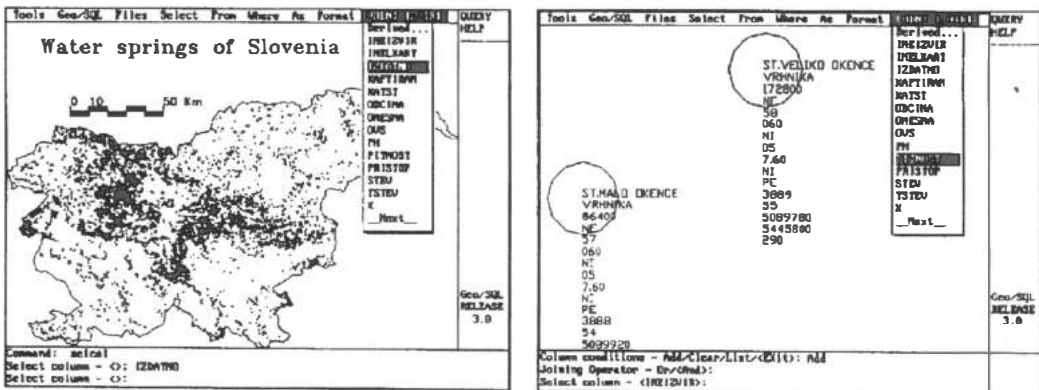
Zabluda je da uvođenje informatike smanjuje zapošljavanje i da je moguće probleme rješavati usput s manjim brojem eksperata. Računalo s podacima ne može nadoknaditi iskustva i ogroman minuli rad skupljen u pojedinim organizacijama.

Osnovna je pretpostavka na kojoj je građen VGIS oblikovanje distribuiranog sistema koji će s razvojem uključiti skoro svako radno mjesto u vodoprivredi. Oprema i programi moraju biti standardni i prije svega jednostavni za rad tako da je moguće u kratku vremenu uključiti veći broj ljudi u njihovoj svakodnevnoj potrebi. Za projekat VGIS izabran je SQL kao standard za rad s bazama podataka i AutoCAD, te na njemu zasnovani GIS programi za grafičku i kartografsku analizu. Spomenuti standardi omogućavali su i omogućuju prilagođavanje projekta razvoju programske opreme. Izabrani programi danas su prilagođeni osnovnim operacijskim sistemima tako da jih je moguće uporabljivati kako na PC tako i na većim računalnim sistemima u zajedničkoj mreži.

Sam razvoj projekta bio je usredotočen na izradu registara, katastara i osnovnih standarda strukture podataka. Tako su bili prikupljeni i uneseni u računalo podaci o izvorima, zagađivačima, objektima i riječnim slivovima. U sistem su takođe uneseni podaci o digitalnome modelu terena Slovenije (DTM), administrativnim granicama, položajem hidrometeoroloških postaja itd.

3. Registar izvora

Registar izvora prvi je cjelovit registar urađen 1983. za potrebe VGIS. Registar obuhvaća izvore i kraške jame s vodom (slika 2). Podaci o svakome i izvor obuhvaćaju dvanaest atributa. Već nakon prvih pokušaja korištenja baze, u praksi se pokazalo dosta grešaka, prije svega u koordinatama lokacija. Vremenom su te greške otklonjene uz pomoć GIS sistema.



Slika 2. Primjer registra izvora
Figure 2. Register of springs

4. Registar objekata

Registar objekata postavljen je 1989. i prikupljanje podataka još nije završeno. Prikupljanje se vrši izradom klasičnih elaborata s kartama u omjeru 1:5000 i osnovnim podacima o pojedinim objektima za koje su zadužena vodoprivredna poduzeća. Za svaki se objekt ispunjava registarski list veličine A3 formata (slika 3). Na lijevoj strani lista u gornjem su dijelu osnovni podatci o objektu s lokacijom, a u donjem dijelu osnovni podatci o vrijednosti objekta. Na lijevoj strani lista je u gornjemu dijelu skica objekta s položajem na isječku karte u omjeru 1:5000, a u donjem dijelu lista nacrtani su karakteristični profili objekta. Spomenute listove moguće je jednostavnim kopiranjem umnožavati za različite potrebe, a na zadnjoj stranici lista ima dovoljno prostora za pisanje primjedbi riječnih nadzornika ili vodoprivrednih inspektora. Za objekte na vodotoku za koje nije zadužena vodoprivreda (mostovi) napravljen je sličan popis, samo bez podataka o vrijednosti objekta.

Podaci prikupljeni u registru omogućavaju anлізу i ocjenu vrijednosti objekata, analizu šteta itd. Na slici 4 prikazana je analiza vrijednosti objekata uz duž toka rijeke Sore.

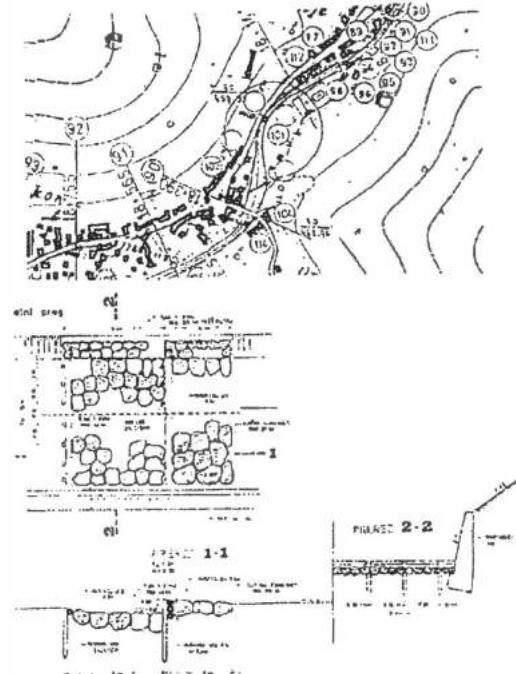
Katastrski list ima naslednje oblike:
(leva stran lista)

KATASTER OBJEKTOV V SELOŠKI RABU
Št. objekta:..... Št. lista

OVS:..... Področje:..... Povezava:.....
Šifra nomenklature objekta:..... Porečje:.....
Vodotok:..... Lokacija:..... Šifra:.....
Stacionara:.....
Položaj obj. LUS Erikoz: TLP Koordinate: K... W... Z...
Objekt:..... Tip objekta:.....
Imen:.....
Opis zgradbe objekta:..... Fretok:.....
Št. prejukta:..... Št. VG dovoljenja:.....
Izvoajalec:..... Let. izg.:..... Let. rekonstr.:.....
Opis stanja objekta:.....
Dane izstroženosti:..... Ocena trajanja objekta:.....
Viru podatkov:.....
PRIPOMBE:.....

DIMENZIJE I IZRAČUN VREDNOSTI OBJEKTA							
Št. objekta	Šifra	Post. cenika	Ime, značilnosti in navedbe posestnika	Mee. enota	Količina	Vrednost poote	Vredn.

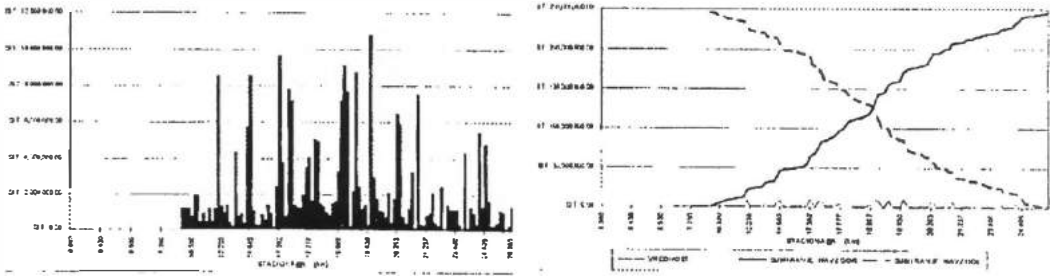
12. TALNI PRAG V LESENI IZVEDBI (SS10)



Slika 3. Registar list katastra objekata
Figure 3. Register form for structures

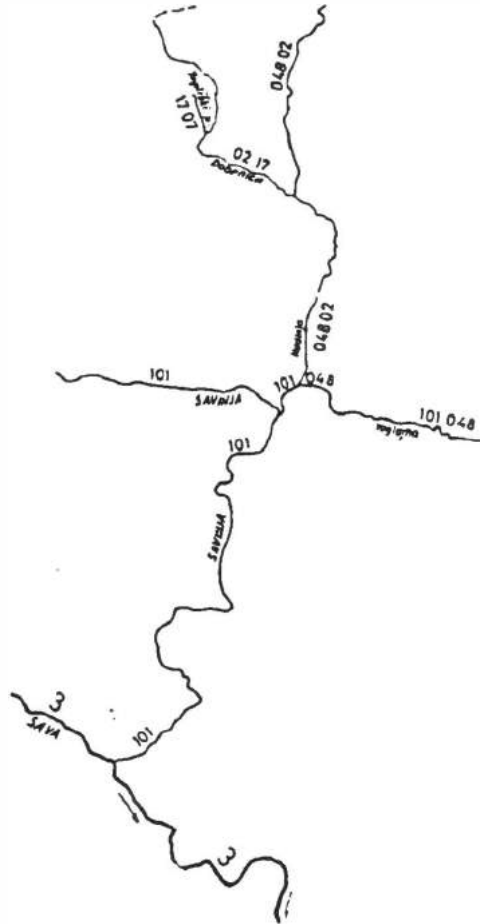
5. Hidrografski registar

Razvoj VGIS ubrzo je postavio pitanje određivanja šifara - identifikatora pojedinih vodotoka i njihovo klasificiranje. Sistem uporabljiv ranije (slika 5) zasnovan na redoslijedu uljeva vodotoka u glavni recipijent pokazao se nepogodnim u praktičnoj primjeni. Sistemi razvijeni za potrebe modeliranja u hidrologiji (Smart 1970) nisu bili uporabljivi. Pokušaji razvoja sistema vezanih uz koordinate ušća (Brilly 1993) isto

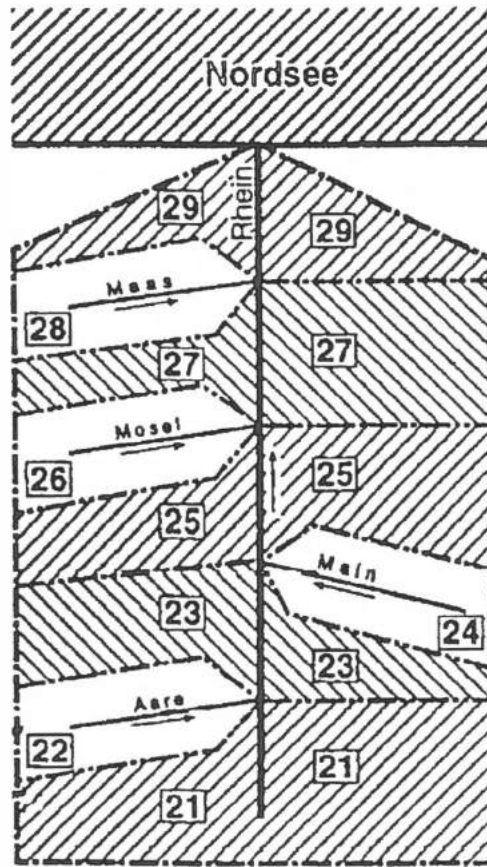


Slika 4. Vrijednosti objekata uzduž rijeke Sore
 Figure 4. Evaluation of structures on Sora river

tako su se pokazali nepogodnim. Rješenje je razvoj sistema zasnovana na hijerarhijskoj strukturi slivova i podslivova. Originalna verzija sistema (Brilly 1994) analizirana je i uspoređena s različitim sistemima kodiranja u europskim državama. Analiza je pokazala da je razvijeni sistem skoro identičan s bavarskim sistemom uporabljenim 1978. (Ruhs 1978) i službeno uvedenim u njemačku praksu 1992.



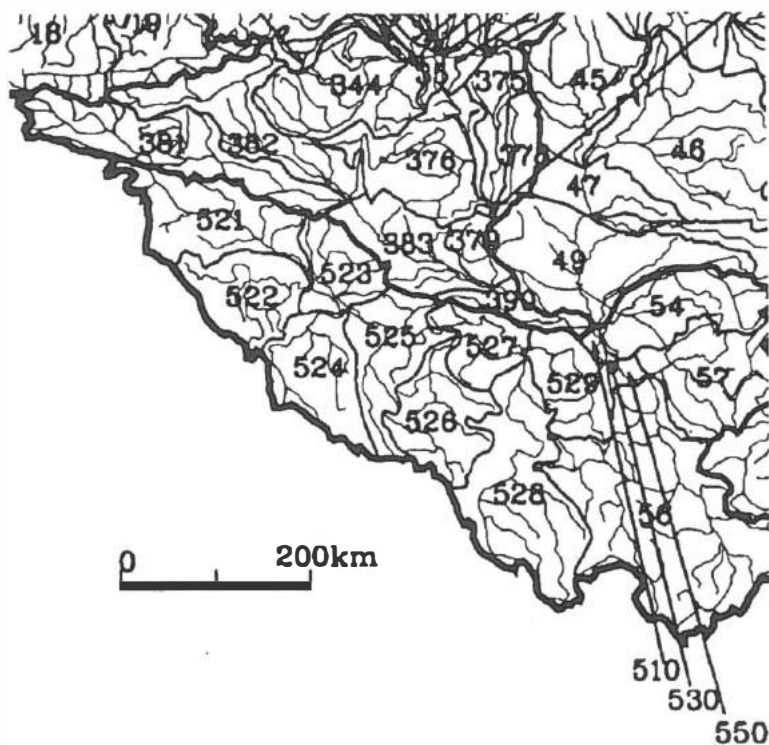
Slika 5. Stari sistem kodiranja vodotoka
 Figure 5. Former system of river coding



Slika 6. Kodiranje sliva Rajne
Figure 6. Rhine river coding



Slika 7. Jedna od verzija kodiranja slivova u Sloveniji
Figure 7. An example of Slovenian river coding



Slika 8. Prijedlog kodiranja slivova Drave i Save
 Figure 8. Proposal for Drava and Sava river coding

Sistem je temeljen na generiranju sliva. Cjelokupnom većem slivu dodjeljuje se jednoznačen broj, na primjer 2. Zatim se sliv dijeli an do devet približno jednakih dijelova i pojedinim podslivovima dodjeljuju brojevi, počevši od izvornoga dijela sliva tako, da podslivovi koji pripadaju glavnom toku dobijaju neparne znamenke, a pritoke parne znamenke. Nula služi za označavanje dijelova sliva koji se na pojedinim nivoima zbog hidrografskih razloga ne dijele na manje dijelove. Na slici 6 prikazan je primjer Rajne. Svaki dio podsliva zatim se može na sličan način dijeliti dalje.

Njemački sistem zatim je uporabljen za potrebe VGIS s manjom izmjenom jer se sliv dijeli samo na do sedam dijelova, tako se mogu cifre 8 i 9 iskoristiti za oznaku posebnih pojava u krasu i slično. Jedna od verzija upotrebe sistema za Sloveniju prikazana je na slici 7. Sistem omogućava dodjeljivanje šifara i najmanjim površinama, praktično do nekoliko desetina kvadratnih metara.

Sistem je uporavljen pri izradi zajedničkoga šifranta sliva Dunava za potrebe bibliografije monografije Dunava. Projekt je sastavni dio regionalne suradnje IHP komiteta država u slivu Dunava. Na slici 8 prikazana je podjela slivova Drave i Save na trećem nivou koja omogućava povezivanje šifranta slivova Slovenije i Hrvatske na međunarodnom nivou.

Bibliografija

- Brilly, Mitja, Smith, Michael, Vidmar, Andrej »Spatially oriented surface water hydrological modelling and GIS«, HydroGIS 93, IAHS Publication No. 211, Wallingford 1993, str. 547-559.
- Brilly, Mitja, Vidmar, Andrej »River basin coding«, Hydroinformatics '94, IHE Delft 1994, str. 531-534.
- Brilly, Mitja »Kataster vodnogospodarskih objektov in naprav v splošni in posebni rabi«, FGG-LMTe, Ljubljana 1993
- Ruhs, P. »Verzeichnis der Bach und Flussgebiete in Bayern«, Bayerisches Landsampt fur Wasserwirtschaft, Bayer, Landesvermessungsampt, 1978
- Smart, J. »Use of Topological Information in Processing Data for Channel Networks. Water Resources Research, No. 6 1970, str. 932-936.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Branimir Mayer

R 5-08

Opseg i značenje monitoringa podzemnih i površinskih voda za nizinske šume Hrvatske

SAŽETAK: *U posljednjoj četvrti stoljeća šumski ekosustavi Republike Hrvatske izloženi su sve agresivnijim antropogenim utjecajima i nizovima sušnih godina. Osobito velike promjene nastupile su u režimu podzemnih i površinskih voda nizinskih šuma sjeverne Hrvatske nakon izgradnje velikih sustava obrane od poplava s retencijama i hidrocentrala s akumulacijama. U prvom je planu isušivanje šumskih bazena kroz redukciju poplava i sniženje razina podzemnih voda te pogoršanje kvalitete voda što dovodi, u kombinaciji sa sušnim razdobljima, do slabljenja vitalnosti šumskih ekosustava, do promjene sukcesije šumskih stajbina od vlažnih prema sušima, do širenja pojave sušenja stabala ili dijelova šumsko-gospodarskih jedinica. Da bi se uspješnije rješavali rastući šumsko-ekološki i šumsko-gospodarski problemi pristupilo se, u posljednjih petnaest i više godina, uspostavi mreže hidropedoloških piezometarskih stacionara. Organiziranim monitoringom podzemnih i površinskih voda dosad je obuhvaćeno više velikih šumskih bazena, a planira se daljnje širenje. Prikupljena je velika baza podataka u čiju se organizaciju, manipulaciju i interpretaciju sve više uključuju alati geografskog informacijskog sustava (GIS). Dobiveni rezultati temeljni su oslonac šumsko-gospodarskim i drugim odlukama. Provode se nova hidropedološka šumsko-ekološka kartiranja oštećenih površina promijenjena vodnoga režima. Prati se unos polutanata onečišćenim poplavnim vodama u šumska tla.*

KLJUČNE RIJEČI: *nizinske šume, monitoring podzemnih i površinskih voda*

Scope and Meaning of the Ground and Surface Water Monitoring for the Lowland Forests in Croatia

ABSTRACT: *During the last quarter of the century the forest ecosystems in the Republic of Croatia have been exposed to increasingly aggressive anthropogenic effects and series of dry years. Especially large changes have occurred in the ground and surface water regimes in the lowlands forests of the northern Croatia following the construction of large flood control systems with flood storages and hydropower plants with reservoirs. The priority problem is drying out of the forest basins through reduction in floods and lowering of the groundwater tables, and decrease in quality of water which, in conjunction with the periods of drought, leads to deterioration of vitality of forest ecosystems, change in succession of forest sites from humid to dry, spreading of the phenomenon of drying out of trees or parts of forest management units. In order to successfully solve the increasing forest ecology and forest management issues, a network of hydro-pedological piezometer stations has been set during the last fifteen odd years.*

Organized monitoring of ground and surface water has so far encompassed several large forest basins, and further expansion is planned. A large database has been collected. The tools of the Geographical Information System (GIS) are increasingly used in organization, handling and interpretation of these data. The obtained results are the background of the decision-making in forest management and else. New hydro-pedological forest ecology mapping of degraded areas with changed water regime is conducted. The ingress of pollutants with contaminated flood waters into the forest soil is monitored.

KEY WORDS: lowlands forests, ground and surface water monitoring

1. Uvod

Tijekom posljednjih stotinu godina nizinske šume hrasta lužnjaka, poljskoga jasena i drugih vrsta Posavine, Podravine i Pokuplja sjeverne Hrvatske zahvatila su dva razdoblja masovnog sušenja stabala i sastojina.

U prvom se razdoblju, koje je trajalo od 1909. do 1925. godine (Prpić 1989., Vranković i Bašić 1989.), sušenje pripisivalo nepovoljnim svojstvima tla, zajedničkom djelovanju gusjenica i pepelnice, gljivi mednjači kao i neracionalnim mjerama šumskoga gospodarstva. Vajda (1948.) je analizirao promjene klimatskih čimbenika i zaključio da su masovna sušenja na velikim prostorima u svezi s odstupanjima klimatskih parametara od prosječnih vrijednosti, osobito zbog suša izazvanih pojačanom Sunčevom radiacijom.

U drugom razdoblju, od kraja 60-tih godina pa na ovamo, nastupili su u okolišu posve novi antropogeni utjecaji. Izvedeni su opsežni vodotehnički zahvati radi obrane od poplava s retencijama, izgrađeni su sustavi hidrocentrala s akumulacijskim jezerima, uspostavljene su nove mreže kanala radi hidrotehničkih melioracija poljoprivrednih, ali i šumskih površina, mreže komunikacija, infrastruktura za crpilišta nafte, odlagališta tehnološkog otpada i drugo. Onečišćenje površinskih vodotoka ubrzano se širilo i povećavalo, a s time i unos polutanata u šume putem onečišćenih poplavnih voda, čemu treba dodati unos polutanata daljinskim zračnim transportom sa suhom i mokrom depozicijom. Sve se to zbiva u vrijeme kada klimatolozi i hidrolozi podastiru sve više podataka o globalnim i lokalnim klimatskim promjenama (Bonacci 1993., Trninić 1993., Pandžić et al. 1993., Vučetić M. i Vučetić V. 1994.) u smislu porasta temperatura i pojave petnaestogodišnjega razdoblja jake suše. Raspravlja se o tome radi se o terestričkim ili kozmičkim čimbenicima i jesu li se slične klimatske promjene događale u daljoj prošlosti ili su efekt staklenika i smanjenje zaštitnog ozonskog omotača glavni uzročnici tih promjena. Suše, prema štetama koje izazivaju neprijeporno zaslužuju najveću pozornost u gospodarstvu Hrvatske osobito desetak posljednjih godina, stoga je nužno stvoriti strategiju i politiku borbe protiv suše (Bonacci 1993., Sijerković i Čapka 1994., Sečen i Bašić 1994.).

Ti brojni i raznovrsni, a relativno naglo nadošli napadi na gospodarsko i ekološko blago kakvi su slavonski hrastici i druge nizinske šume, postavili su pred šumarsku struku niz novih problema koje je trebalo organizirano rješavati na više razina. Zbog toga su "u hodu" vodene rasprave s ostalim korisnicima prostora koji su svojim djelovanjima direktno mijenjali stajbinske prilike, a istodobno su organizirani potencijali šumarske znanosti i struke na dugoročnim istraživanjima uzroka sušenja i propadanja šuma radi njihove zaštite i obnove. Iz tih istraživanja sinkrono su objavljivani rezultati s preporukama u radovima Dekanića (1962., 1975.), Prpića (1974., 1984., 1986., 1989.), Prpića et al. (1979., 1988.), Vrankovića i Bašića (1989.), Mayera i Komlenovića (1974.) i Mayera (1988., 1994.).

Ti radovi ujedno prezentiraju stavove šumarskih stručnjaka o uzrocima sušenja šuma u drugom razdoblju. Sušenje se dovodi u svezu sa svim navedenim nepovoljnim utjecajima i njihovoj interakciji, a kod rangiranja uzročnika sušenja vodeće mjesto najčešće pripada promjenama u vodnome režimu tla koje se isušuje zbog gubitka poplava i pada razine podzemnih voda ili se lokalno zamočvaruje. Iznijeti problemi potakli su šumarsku struku da organizira dugoročna motrenja dinamike podzemnih i površinskih voda u nizinskim šumama, ali i monitoring svojstava tla i njihova oštećenja za što se zalaže Bašić (1994).

Namjera je ovoga rada da prikaže široj stručnoj i znanstvenoj javnosti opseg šumarskoga hidropedološkog monitoringa i dio rezultata istraživanja koja su provedena u Šumarskom institutu, Jastrebarsko.

2. Monitoring podzemnih i površinskih voda

Monitoring podzemnih voda za glavnu mjerljivu veličinu uzima lako dostupnu razinu podzemnih voda koja u močvarnim tlima neposredno utječe na režim vlažnosti površinskih horizonata, isparavanja i otjecanja, a time na bonitet šumske stojbine i proizvodnost šumskih vrsta (Sabo et al. 1981.).

Od prvih sustavnih piezometarskih opažanja podzemne i površinske vode u lipo-
vljanskim šumama (Dekanić 1962.) slijedila su brojna hidropedološka istraživanja u nizinskim šumama Hrvatske. Njihovi nositelji na Šumarskom fakultetu u Zagrebu bili su B. Prpić, A. Vranković i F. Bašić, te B. Mayer u Šumarskom institutu, Jastrebarsko.

Mreža piezometarskih stacionara postupno se širila i danas pokriva više velikih šumskih bazena nizinske Hrvatske, kako je vidljivo iz pregleda tablice 1.

Podaci iz tablice pokazuju glavnu problematiku osnivanja piezometarskih stacionara. Različite su godine osnivanja i gustoće stacionara na jedinicu površine, različite su dubine piezometara i čestina opažanja. Stacionari u Spačvi i Našičkim šumama postavljeni su kao nastavak već postojeće mreže piezometara na izvanšumskim površinama. U Kupčini, Turopoljskom lugu, Česmi i Varoškom lugu gustoća je stacionara veća, a lokacije su odabrane prvenstveno u funkciji šumsko-ekološke i šumsko-gospodarske problematike.

Monitoring podzemnih i površinskih voda provodi se na hidropedološkim stacionarima koji su pod nadzorom Šumarskog instituta, Jastrebarsko, 14 godina u nizinskim šumama Kupčine, 7 godina u Varoškom lugu i Česmi i 6 godina u Turopoljskom lugu, a najnovije u nizinskim šumama Uprave šuma Našice. Stvorena je velika baza prostorno određenih podataka povezanih u vremenske nizove. Dosadašnja statistička obradba podataka s ograničenim mogućnostima manipulacija, grafičkih vizualizacija i pohranjivanja postala je usko grlo kod stvaranja novih informacija neophodnih za razna odlučivanja koja se odnose na unapređenje šumsko-ekoloških, šumsko-gospodarskih i drugih djelatnosti. Stoga je u tijeku projektiranje šumarskog hidropedološkog informacijskoga sustava (ŠHPIS) (Mayer 1993.) pomoću suvremenih informatičkih alata geografskog informacijskog sustava (GIS) i kvalitetne računalne opreme. Također su provedena brojna istraživanja monitoringa trenutne vlažnosti tla i redoks potencijala, a od 1991. godine u tijeku je lizimetrijski monitoring u nizinskim šumama hrasta lužnjaka i običnoga graba (Vrbek 1992, 1993).

2.1. Monitoring u šumama bazena Kupčine započeo je u suradnji s Vodoprivredom 1981. godine, u svezi s istraživanjem posljedica izgradnje retencije Kupčina na postojeće šumske ekosustave. Hidropedološka su istraživanja pokazala (Mayer 1988., 1991.) da su najveće promjene u vodnome režimu nastupile u usporedbi s ranijim stanjem (Mayer i Komlenović 1972. i Mayer 1976.) u redukciji poplavnih voda koje su površinski smanjene za oko polovinu, a njihovo trajanje skraćeno je za oko 2/3. Uz

Uprava šuma Forest management	Šumarija Forest enterprise	Obuhvaćena površina Area included, ha	Razdoblje mjeranja, godine Monitoring period, years	Čestina mjerenja Measurement frequency	Broj piezometar- skih stacionara Number of piezometer stations ha/1 station	Broj piezometar- skih cijevi Number of piezometer tubes	Broj bunara Number of wells	Broj kanala Number of channels	Nadzor vrši Control by
Gospod. jedinica ili predjel Management unit or region									
KARLOVAC Kupčina	Jastrebarsko Draganići, Karlovac, Pisarovina	8.000	14 1981.-1995.	1 x tjedno	15 500	60 0.5,1,2,7 m	4	4	Šumarski institut, Jastrebarsko
BJELOVAR Varoški lug, Česma, Boičanski lug	Vrbovec	3.400	7 1988.-1995.	2 x tjedno	32 100	83 0.5,1,2,4 m (od 1993.g. 24 nove cijevi od 7 m)	-	9	
ZAGREB Turopoljski lug	Velika Gorica	4.300	6 1989.-1995.	2 x tjedno	7 600	26 0.5,1,2,7 m	2	5	
SISAK Posavske sunjske šume	Sunja (prekinuto)	-	2 1989.-1990.	2 x tjedno	4	16 0.5,1,2,7 m	1	2	
NAŠICE bazen nizinskih šuma	Koška D. Miholjac Đurdenovac Slatina	12.000	početak 1995.	2 x tjedno	22	88 0.5,1,2.5,7 m	-	-	
VINKOVCI Spačva	Strošinci Lipovac Županija Otok Gunja Vrbanja	26.000	1987.-1995.	2 x tjedno	16	61	-	-	Šumarski fakultet, Zagreb i DHMZRH
LIPOVLJANSKE NIZINSKE ŠUME Opeke	Fakultetsko dobro Šumarskog fakulteta Zagreb	10.000	1971.-1995.	2 x tjedno	7	21	-	-	Šumarski fakultet, Zagreb
KOPRIVNICA Repaš	Repaš	3.600	1985.-1995.	2 x tjedno	16	28	-	-	DHMZRH

ove promjene nastupilo je sniženje razina podzemnih voda, osobito uz duboke kanale. Zatečeno stanje podzemnih voda od 1981. godine pokazivalo je oscilacije ovisno o karakteru hidroloških godina, ali obračuni trenda 14-godišnjih opažanja nisu pokazali signifikantan pad ili porast vodostaja. Ovi podaci, uz druga opažanja, navode na zaključak o izvjesnoj stabilizaciji zatečenog stanja i pretpostavku o dosta dobru bočnome punjenju podzemnoga kupčinskog rezervoara. Isušivanje je međutim zahvatilo površinske horizonte tla što bi se moglo zaključiti iz podataka površinskih piezometara 0,5 m, iz kojih se vidi pad vodostaja u drugom petogodištu (1986.-1990.) u odnosu na prvo (1981.-1985. godina). Razdoblje motrenja je međutim prekratko da bi se mogli izvest sigurniji zaključci. Za stratigrafiju tala Kupčinskog bazena karakteristični su slojevi teške gline, osobito u gornjim horizontima. Oni su prepreka komuniciranju podzemnih i površinskih voda što otežava snabdijevanje hrasta lužnjaka i drugih vrsta kapilarnom vodom za vrijeme ljetnog pada vodostaja.

Koji su to optimalni vodostaji pokazale su GIS kolorirane karte (Mayer 1993.) minimalnih vegetacijskih razina podzemnih voda "vrlo vlažne" 1989. godine sa 700 mm dobro raspoređenih vegetacijskih oborina (veg. prosjek 515 mm) prema podacima meteorološke stanice u Jastrebarskom s 31-godišnjim nizom opažanja. Velika zasićenost tla vodom 1989. godine dovela je do izrazita oporavka kupčinskih šuma hrasta lužnjaka i tvorbe iznad prosječnog radijalnog prirasta u uvjetima pojačane Sunčeve radijacije, iznad prosječnih temperatura i odsutnosti defolijatora. Vrlo vlažne 1989. godine prosječni su vegetacijski minimumi od svih 15 stacionara u Kupčini bili - 206 cm, a "vrlo suhe" 1990. godine - 263 cm, tj. pad razina za 57 cm.

Mnogi obračuni korelacije između vremenskih serija podzemne vode i dinamike radijalnoga prirasta hrasta lužnjaka upućuju na zaključak da je povoljan sadržaj vode u mjesecima svibnju i lipnju osobito značajan za uspješan rast i prirast.

Zanimljivi su podaci analize trendova oborina koje preporučuje Bonacci (1994.), za meteorološku stanicu Jastrebarsko smještenu na periferiji bazena kupčinskih šuma:

Za zbroj godišnjih oborina: $N = 30$, $P = 925$ mm, $s_p = 116,72$, $P = 972$, 45-3,0 T ispod granice signifikantnosti.

Za zbroj vegetacijskih oborina: $N = 31$, $P = 515$ mm, $s_p = 91,68$, $P = 576,08$ -3,81 T signifikantno godišnje vegetacijsko smanjenje oborina za 3,8 mm.

U opisanim hidrološkim prilikama sušenje šuma u kupčinskom su bazenu povećava. U 1984. godini u sanitarnim je sječama izvađeno 3.500 m³ sušaca, a u 1992. godini preko 40.000 m³.

Nameće se zaključak da je prioritetan zadatak u gospodarenju vodama povećanje vlažnosti tla u vegetacijskoj sezoni, osobito zbog niza sušnih godina. Kod toga ostaje zasad nepremostiv problem nedostatak takovih hidrotehničkih rješenja koja bi imitirala prirodnu uspostavu dinamike vlažnosti tla i zakonitosti kolebanja podzemnih voda. Stoga su dobronamjerna razmatranja i prijedlozi hidrotehničke struke (Milović 1994.) često u nesuglasju s rezultatima šumsko-ekoloških istraživanja.

2.2. Bazen šuma Turopoljskog luga ima obrađene 5-godišnje vremenske nizove (1989.-1993.) razina podzemne vode (Mayer i Bušić 1994.). Ovi vrlo kratki nizovi pokazuju izrazito opadanje razina podzemnih voda, ali i vodostaja u kanalima i bunarima.

Istodobno površinski piezometri 0,5 m pokazuju porast isušivanja tla. U Turopoljskom lugu glinasti zbijeni površinski slojevi također uzrokuju razdvajanje gornje i dublje podzemne vode, slično kao u Kupčini samo što je prosječan pad razina vegetacijskih minimuma vrlo vlažne 1989. na vrlo suhu 1990. godinu, bio skoro dvostruko

veći, tj. 101 cm. Hidroregulacijama i nizom sušnih godina Turopoljski je lug izgubio veliki dio površinske vode neophodne za uspijevanje koje hrasta lužnjaka, a podzemna voda u šljunčanom vodonosniku zagrebačko-velikogoričke Posavine podvrgnuta je većim oscilacijama i ljetnom padu nego u kupčinskim šumama. U Turopoljskom lugu nastupilo je masovno sušenje šumskih sastojina. Od 1981. do 1990. godine osušilo se ukupno oko 100.000 m³ stabala po čemu ova pojava poprima značenje ekološke katastrofe, kako navode Prpić et al. (1994.).

2.3. U bazenu nizinskih šuma Varoškog luga i Česme prevladavaju epiglejna močvarna tla intenzivno hidromeliorirana lakšega mehaničkog sastava na derivatima pretaloženog zamočvarenog prapora. Monitoringom vodostaja od 1988. godine utvrđeno je da je dinamika podzemne i površinske vode pod jakim drenažnim uplivom kanalne mreže. Isušivanje je tih šumskih bazena intenzivnije od kupčinskoga, ali su, općenito uzevši, pedofizička svojstva znatno povoljnija u smislu velike kapilarne poroznosti a time i velikog vodnoga kapaciteta tla, što smanjuje deficit vlage i usporava pojavu sušenja stabala. Monitoringom poplavnih površina u Česmi dobivene su posebno vrijedne karte dinamike ulaza i izlaza poplava široke uporabljivosti.

U Varoškom lugu dvogodišnji monitoring (1991./92.god) trenutne vlažnosti tla, podzemne vode, oborina i defolijacije u odnosu na radijalni prirast i sušenje hrasta lužnjaka pokazao je da je nedostatak vlage u tlu bio presudni uzročnik sušenja ove šumske vrste (Mayer 1994). Također je potvrđeno da je povoljan raspored oborina bitan, kako za proizvodnju drvne tvari tako i za preživljavanje vrsta, za razliku od prosječnih vrijednosti koje su samo gruba orijentacija (Bonacci 1993, Vučetić M. i Vučetić V. 1994).

3. Nove detaljne pedoekološke šumsko-proizvodne karte područja s velikim promjenama vodnoga režima

Te karte postaju neophodna podloga u procesu obnove oštećenih nizinskih šuma izgradnjom hidrocentrala s akumulacijama (Mayer i Jalušić 1992., Mayer i Bušić 1994.). To se u prvom redu odnosi na prirodne šume vrba i topola i kulture euro-američkih topola varaždinskog dijela Podravine gdje su promjene režima vodostaja nastupile brzo i osciliraju sa spuštanjem razinom vodostaja u starom koritu rijeke Drave. Nova detaljna pedoekološka karta Varaždinskih podravskih šuma u mjerilu 1:10.000 pokazala je da osim spuštanja vodostaja, ima područja njegove stabilizacije na višem nivou oko akumulacijskih jezera (Mayer i Jalušić 1992., Mayer i Bušić 1994.). Slična neobjavljena istraživanja vrše se na nekoliko površina mihoļjačko-valpovačke i osiječke Podravine. Vegetacijska istraživanja Rauša (1992.) potvrdila su nalaze o isušivanju ovih površina.

4. Unos polutanata u nizinske šume sjeverne Hrvatske onečišćenim poplavnim vodama

Rezultate tih istraživanja prikazuju radovi Mayera 1987., 1991., 1992., Mayera i Pezdirc 1990., Komlenovića et al. 1991., Mayera et al. 1993.

Ova su istraživanja pokrila već mnoge šumske bazene: Kupčinu, Turopoljski lug, Varoški lug, Česmu, varaždinske podravske šume, Spačvu, podunavske vrbike i topolike i osječke podravske šume. Najvećma je istraživano olovo, cink i bakar. Rezultati su različiti po pojedinim bazenima, ali je karakteristično da poplavna područja uvijek sadrže više polutanata od neplavljenih. Alarmantna je situacija u varaždinskoj Podravini gdje aluvijalna tla sadrže i deseterostruko veće koncentracije od prirodnih vrijed-

nosti. Rekonstrukcija i obnova tih šuma i šumskih kultura dugotrajan je ali važan proces jer su to ekološka uporišta u gusto naseljenim zonama.

5. Zaključci

Široj stručnoj javnosti prikazan je dio rezultata istraživanja u nizinskim šumama Hrvatske koja se odnose na hidropedološki monitoring, na pedoekološka kartiranja šumskih površina u izmijenjenim hidrološkim prilikama i na istraživanja unosa polutanata onečišćenim poplavnim vodama.

Monitoringom podzemnih i površinskih voda u šumskim bazenima Kupčine, Turpoljskog luga, Varoškog luga i Česme utvrđeno je da je nedostatak vlage u tlu glavni uzročnik sušenja hrastovih šuma.

U bazenu Varaždinskih podravskih šuma hidropedološka istraživanja i kartiranja također su pokazala da je sušenje autohtonih šuma i šumskih kultura mekih listača u najviše slučajeva direktna posljedica pada razine podzemnih voda i nedostatka vlage u zoni aeracije tla.

Unos polutanata onečišćenim poplavnim vodama posvuda je registriran, a osobito je alarmantan u sedimentima poplavne zone rijeke Drave i akumulacijskih jezera kod Varaždina.

Iako se fiziološka slabljenja i sušenja nizinskih šuma u nas najčešće dovode u svezu s poremećajima vodnoga režima tla (pretežito isušivanje, a manje lokalno zamočvarivanje) nakon vodotehničkih zahvata, udjela u tom procesu imaju klimatske suše, oštećenja lišća od defolijatora ili gljivičnih oboljenja, načini šumskoga gospodarenja, polutanti iz raznih izvora i drugo.

Literatura

- Bašić, F., 1994: Trajno motrenje tla u okviru RZ Alpe, Alpe-Jadran i Podunavlje. Znanstveni skup: Poljoprivreda i gospodarenje vodama, Priopćenja: 154-178, Bizovačke toplice.
- Bonacci, O., 1993: Identifikacija suše i borba protiv nje. Zbornik radova: Okrugli stol o suši: 1-20, Hrvat. hidrol. društvo, Zagreb.
- Bonacci, O., 1994: Oborine glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus. GEING :1-341, Split.
- Dekanić, I., 1962: Utjecaj podzemne vode na pridolazak i uspijevanje šumskog drveća u posavskim šumama kod Lipovljana. Glas. šum. pokuse 15:1-118, Zagreb.
- Dekanić, I., 1975: Utjecaj visine i oscilacija nivoa podzemnih voda na sušenje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.), Šum. list 7-10:117-127, Zagreb.
- Komlenović, N., Mayer, B., Rastovski, P., 1991: Unos teških metala onečišćenim poplavnim vodama u tla nizinskih šuma istočne Slavonije. Šum. list 3-5:131-149, Zagreb.
- Mayer, B., 1976: Neki problemi interpretacije elemenata vodnog režima na humoznom anfiglejnom tlu. Vodoprivreda, 39:16-20.
- Mayer, B., 1987: Rezultati prvih istraživanja sadržaja olova, kadmija, sumpora i fluora u tlu nizinskih šuma bazena Kupčine. Šum. list 1-2:19-27, Šumar. inst., Jastrebarsko.
- Mayer, B., 1988: Hidropedološki stacionari - neophodnost pri rješavanju problema ugroženosti naših nizinskih šuma s primjerom bazena Kupčine. Radovi 75:7-32, Šumar. inst., Jastrebarsko.

- Mayer, B., 1991: Važnost pročišćavanja otpadnih voda u sprečavanju ekotoksičnosti posebno za tla nizinskih šuma sjeverne Hrvatske. Radovi, Vol. 26, br. 1:94-104, Šumar. inst., Jastrebarsko.
- Mayer, B., 1991a: Dinamika podzemnih i površinskih voda u nizinskim šumama Pokupskog bazena u razdoblju 1981.-1990.godine. Periodična studija, 74pp, Šumar. inst., Jastrebarsko.
- Mayer, B., 1992: Naplavine u Ormoškom akumulacijskom jezeru teret budućnosti. Radovi, Vol. 27, br. 2:91-210, Šumar. inst., Jastrebarsko.
- Mayer, B., 1993: Proces osnivanja Šumarskog hidropedološkog informacijskog sustava (ŠHPIS) na osnovi monitoringa podzemnih i površinskih voda u Kupčini, Varoškom lugu, Česmi i Turopoljskom lugu. Radovi, Vol. 28, br. 1:171-184, Šumar. inst., Jastrebarsko.
- Mayer, B., 1994: Utjecaj dinamike vlažnosti tla, podzemne vode, oborina i defolijacije na sezonsku dinamiku radijalnog prirasta i sušenje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Varoškom lugu. Radovi Vol. 29, br. 1:83-102, Šumar. inst., Jastrebarsko.
- Mayer, B., Komlenović, N., 1974: Izvještaj o rezultatima četverogodišnjih istraživanja elemenata vodnog režima na području gospodarske jedinice Draganički lugovi. Elaborat; pp.30, Šumar. inst., Jastrebarsko.
- Mayer, B., Pezdirc, N., 1990: Teški metali (Pb, Zn, Cu) u tlima nizinskih šuma sjeverozapadne Hrvatske. Šum. list, br. 6-8:251-260, Zagreb.
- Mayer, B., Jalušić, B., 1992: Freatofilne šumske vrste ugrožene padom razine podzemnih voda u okolišu HC Varaždin. Radovi, Vol. 27, br. 1:43-53, Šumar. inst., Jastrebarsko.
- Mayer, B., Komlenović, N., Rastovski, P., 1993: Ergebnisse der untersuchungen der Schwermetalle (Pb, Zn, Cu) in den Auenwäldern Nordkroatiens. Stoffbelastung des Bodens. Expertentagung der gemeinsamen Arbeitsgruppe Bodenschutz, ARGEALP, :97-107, Linz.
- Mayer, B., Bušić, G., 1994: Izvješće o rezultatima istraživanja režima podzemnih i površinskih voda na području šumsko-gospodarske jedinice Turopoljski lug tijekom 1993.godine s osvrtom na petogodište od 1989. do 1993.godine. Elaborat: 13pp., Šumar. inst., Jastrebarsko.
- Mayer, B., Bušić, G., 1994a: Detaljna pedoekološka karta šumsko-gospodarske jedinice Varaždinske podravske šume sa stanjem dvadeset godina nakon izgradnje HC Varaždin. Radovi Vol. 29, br. 2:161-170, Šumar. inst., Jastrebarsko.
- Milović, B., 1994: Ekološki odrazi izvođenja vodoprivrednih radova na nizinske šume, Hrvatska vodoprivreda, god. III, br. 19:22-23, Zagreb.
- Pandžić, K., Čapka, B., Sijerković, M., 1993: Uzroci klimatskih promjena i klimatski modeli. Izvanredne meteorološke prilike 1992.godine u Hrvatskoj. Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske :117-125, Zagreb.
- Prpić, B., 1974: Ekološki aspekt sušenja hrastovih sastojina u nizinskim šumama Hrvatske. Šum. list, 7-9:285-290, Zagreb.
- Prpić, B., 1984: Antropogeni utjecaji na šumske ekosisteme srednjeg Posavlja u svjetlu sinteze sinkronih ekoloških mjerenja. III. kongres ekologe, Radovi i rezime: :441-444, Sarajevo.
- Prpić, B., 1986: Studija utjecaja vodne stepenice _urđevac na šumu Repaš. Šum. list 1-2:541-552, Zagreb.
- Prpić, B., 1989: Sušenja hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj u svjetlu ekološke konstitucije vrste. Glas. šum. pokuse, Vol. 25 :1-20, Zagreb.

- Prpić, B., Vranković, A., Rauš, __, Matić, S., 1979: Ekološke značajke nizinskih šumskih ekosistema u svjetlu regulacije rijeke Save. II. kongres ekologa Jugoslavije, Savez društava ekologa :877-897, Zagreb.
- Prpić, B., Komlenović, N., Seletković, Z., 1988: Propadanje šuma u Hrvatskoj. Šum. list 5-6:195-215, Zagreb.
- Prpić, B., Seletković, Z., Žnidarić, G., 1994: Ekološki i biološki uzroci propadanja stabala hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u nizinskoj šumi "Turopoljski lug". Glas. šum. pokuse 30 : 193 - 222, Zagreb
- Rauš, __, 1992: Vegetacija ritskih šuma uz rijeku Dravu od Varaždina do Osijeka s težištem na Varaždinske podravske šume. Glas. šum. pokuse 28 : 245 - 256, Zagreb.
- Sabo, E.D., Ivanov, J.H., Šatillo, D.A., 1981: Spravočnik gidrolesomelioratora. Lesnaja promišljenost, 21-23, Moskva.
- Sečen, V., Bašić, Z., 1994: Višenamjensko korištenje rijeke Drave s osvrtom na projekt Novo Virje. Znanstveni skup: Poljoprivreda i gospodarenje vodama :533-545, Bizovačke toplice.
- Sijerković, M., Čapka, B., 1994: Prirodne katastrofe, poljodjelstvo i gospodarenje vodama. Znan. skup: Poljoprivreda i gospodarenje vodama. Priopćenja :487-495, Bizovačke toplice.
- Trninić, D., 1993: Ekstremna hidrološka suša na vodotocima u Hrvatskoj. Zbornik radova: Okrugli stol o suši :29-42, Hrvat. hidrol. društvo, Zagreb.
- Vajda, Z., 1948: Utjecaj klimatskih kolebanja na sušenje hrastovih posavskih i donjo podravskih nizinskih šuma. Institut za šumarska istraživanja, God. 1947, Sv. 1:1-154, Zagreb.
- Vranković, A., Bašić, F., 1989: Neki rezultati pedoloških istraživanja u poremećenim ekosistemima hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. Glas. šum. pokuse, Vol. 25:25-50, Zagreb.
- Vrbek, B., 1992: Metoda pedoloških istraživanja u projektu ekonomsko-ekološke valencije tipova šuma (EEVTŠ). Radovi Vol. 27, br. 2:91-210, Šumar. inst., Jastrebarsko.
- Vrbek, B., 1993: Praćenje depozicije taloženih tvari u zajednici hrasta lužnjaka i običnoga graba na području Uprave šuma Bjelovar. Radovi Vol. 28, br. 1-2, Šumar. inst., Jastrebarsko.
- Vučetić, M., Vučetić, V., 1994: Istraživanje evapotranspiracije nizinskog dijela Hrvatske. Znanstveni skup: Poljoprivreda i gospodarenje vodama, Priopćenja :477-486, Bizovačke toplice.

Tema 6.

**VIŠENAMJENSKO KORIŠTENJE
AKUMULACIJSKIH JEZERA I
NJIHOV UTJECAJ NA OKOLIŠ**



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

**Borislav Franković, Josip Marušić,
Stjepan Mišetić, Stanislav Tedeschi**

R 6-01

Višenamjenska umjetna jezera i okoliš

SAŽETAK: *Umjetna jezera najdjelotvornija su mogućnost ublažavanja prirodne neravnoteže između potreba za vodom i mogućnosti da se te potrebe namire. Rješenje treba tražiti u sklopu višenamjenskoga uređenja i korištenja voda i zemljišta koje je sastavni dio sustavnog uređenja i korištenja našega životnog prostora. Sustavi za uređenje i korištenje voda i zemljišta, čiji su osnovni dijelovi u pravilu umjetna jezera, imaju izvanredno povoljan izravan i neizravan utjecaj na okoliš. Postoje i nepovoljni utjecaji koji su raspoznati te su prikazane mjere kojima je moguće otkloniti nepovoljne utjecaje ili ih svesti na prihvatljivu i unaprijed dogovorenu mjeru. Na kraju se daju primjeri utjecaja umjetnih jezera na okoliš.*

KLJUČNE RIJEČI: umjetno jezero, okoliš, višenamjenski sustavi

Multipurpose Reservoirs and Environment

ABSTRACT: *The reservoirs are the most efficient means of alleviating the natural unbalance between the required water and the possibility to meet the requirements. The solution lies in multipurpose development and use of water and land resources as the integral part of the systematic development and use of our environment. The water and land development and use systems, including the reservoirs, have a particularly favorable, both direct and indirect, environmental effects. Some environmental impacts have also been recognized, and the measures for their removal or reduction to acceptable and predetermined level described. The examples of environmental impact of reservoirs are given in conclusion.*

KEY WORDS: *reservoir, environment, multipurpose systems*

Borislav Franković, dipl. ing. građ., dr. sc. Stjepan Mišetić, dipl. biol., Elektroprojekt d.d., Zagreb

Prof. dr. sc. Josip Marušić, dipl. ing. građ., prof. dr. sc. Stanislav Tedeschi, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet u Zagrebu

1. Uvod

Umjetna se jezera ostvaruju velikim branama koje idu u red najvećih ljudskih pothvata i imaju vrlo velik utjecaj na okoliš. Većina ljudi ima predrasudu da je utjecaj na okoliš nepovoljan pa je glavna svrha ovoga rada pokazati upravo suprotno.

Prvo se ukazuje da su umjetna jezera osnovni dio višenamjenskih sustava kojim se uređuju i koriste vode i zemljište koji su osnovno blago stanovništva svake države. Zatim se ukazuje na ulogu umjetnih jezera, odnosno tih sustava u vodoopskrbi, obrani od poplava, zaštiti zemljišta od izjedanja, navodnjavanju, odvodnjavanju, korištenju vodnih snaga, plovidbi, te rasonodi, izletništvu i športu.

Težište je rada na prikazu utjecaja na okoliš koji mogu biti povoljni i nepovoljni. Pokazuje se kako se nepovoljni utjecaji mogu ili otkloniti ili ublažiti na prihvatljivu i unaprijed dogovorenu mjeru.

Na kraju se daju primjeri utjecaja umjetnih jezera na okoliš-jedan iz inozemstva a drugi iz Hrvatske.

2. Uloga umjetnih jezera u uređenju i korištenju voda i zemljišta

Umjetnim se jezerima jedino može riješiti nesklad između dotoka i potreba za vodom te su ona u pravilu osnovni podsustav sustava za uređenje i korištenje voda i zemljišta. U skladu s tim, ona mogu imati odlučujuću ulogu u opskrbi vodom, obrani od poplava, zaštiti zemljišta od izjedanja, navodnjavanju, odvodnji, korištenju vodnih snaga, plovidbi, te rasonodi, izletništvu i športu.

Opskrba vodom

Umjetna jezera služe ili izravno za vodoopskrbu ili se zbog procjeđivanja iz njih javljaju izvori ili povećava njihova izdašnost ili se povećava izdašnost podzemnih izvorišta.

Dobar je primjer važnosti umjetnih jezera za vodoopskrbu Istra sa svojim jezerom Boto nega i daljnjim mogućnostima poboljšanja vodoopskrbe vlastitim vodama prvenstveno pomoću ostvarenja daljnjih umjetnih jezera.

Vodovod Splita zahvaljuje dovoljnoj izdašnosti i u najsušnijim razdobljima jezeru Prančevići.

Zadovoljenje potreba na vodi na područja Zagreba, kojem gravitira oko 1/4 stanovništva Hrvatske, biti će u bliskoj budućnosti moguće iz savskoga aluvija jedino povećanjem izdašnosti i ustaljivanjem razine podzemne vode umjetnim jezerima, posebice jezerom hidroelektrane "Drenje".

Obrana od poplava

Svakim umjetnim jezerom mogu se ublažiti poplavni valovi, čak i onda kad u njima nema posebnog prostora za smanjivanje poplavnih valova. Nedavne poplave u Istri bile bi mnogo veće da nije bilo jezera Botonega i Letaj (Rubinić, J., 1994.).

U Hrvatskoj su najveće površine izložene poplavama u savskoj i dravskoj dolini i za pouzdanu obranu od poplava u tim dolinama umjetna jezera imaju ključnu ulogu.

Zaštita zemljišta od izjedanja

Iskustvo pokazuje da se umjetnim jezerima uvelike smanjuje pa i sasvim sprečava prijašnje izjedanje zemljišta duž korita rijeke, a inicira se i uređenje bujica u slivnom području jezera.

Navodnjavanje

Hrvatska ima velike potrebe a i velike mogućnosti natapanja oko 680.000 ha, dok sa sada natapa samo 5.790 ha (Marušić, J., 1992.). Prema izvještaju "Izvanredne meteorološke i hidrološke prilike 1993. u Hrvatskoj" proizlazi da su te godine nastale mnogo veće štete od suša nego od poplava. Nema nikave sumnje da ključnu ulogu u osiguranju vode za natapanje imaju umjetna jezera. Kako se navodnjavanjem povećava proizvodnja hrane bez njenog zagađivanja i zagađivanja okoliša to onda ukazuje na ulogu umjetnih jezera u proizvodnji zdrave hrane i čuvanju okoliša od zagađivanja. Nažalost, usprkos velikome broju studijskih i projektnih rješenja, navodnjavaju se relativno vrlo male površine zemljišta.

Korištenje vodnih snaga

Umjetnim se jezerima usredotočuje pad i uređuje dotok što je od bitne važnosti za količinu i kakvoću električne energije. Za Hrvatsku je to od velike važnosti jer je vrlo siromašna na fosilnim gorivima, a uskoro zatvara i svoj zadnji rudnik ugljena.

Plovidba

Umjetnim jezerima može se znatno poboljšati plovidba Savom do Zagreba i Dravom do Karaša.

Razonoda, izletništvo i šport

Na postojećim umjetnim jezerima sve više se razvija izletništvo i šport (kupanje, ribolov, jedrenje, veslanje,...) što će davanjem dozvola privatnicima za korištenje jezera za te svrhe zasigurno dobiti na zamahu.

3. Utjecaj na okoliš

Vrste jezera i okoliš

Dijele se na plitka i duboka. Plitka se ne uslojavaju, te se u njima temperatura po dubini zamjetno ne mijenja. Duboka se uslojavaju, te se kisik iz zraka otapa samo u najgornjem sloju. Zbog toga ona puno više utječu na okoliš nego plitka. Ona moraju imati vodozahvate na raznim visinama.

Opći utjecaj umjetnih jezera na okoliš

Umjetna jezera kao dio višenamjenskih sustava za uređenje i korištenje voda i zemljišta životno su važna za ljude jer se njima značajno:

- namiruju potrebe za vodom;
- povećava proizvodnja hrane na zdrav način-navodnjavanjem i odvodnjom, te ribogojstvom;
- povećava osobna sigurnost i sigurnost za imovinu obranom od poplava i branjenjem zemljišta od izjedanja;
- poboljšavaju zdravstvene prilike zahvaljujući pouzdanoj obrani od poplava, osiguranju zdrave vode za piće i neizravno, smanjuje zagađenost voda i zemljišta;
- povećava proizvodnja električne energije bez zagađivanja okoliša i neizravno smanjuje njegovo zagađivanje termoelektranama na fosilna goriva i smanjuje mogućnost katastrofalnih posljedica zbog nezgoda na nuklearnim elektranama;
- povećava zaposlenost-izravno kroz gradnje, pogon, nadzor i održavanje i neizravno zbog povećanja poljoprivredne proizvodnje mogućnošću razvoja prerađivačkih pogona, poboljšanjem prometnih prilika, te razvojem izletništva, rasonode, športa i turizma;

- povećava društvena sigurnost stanovništva zbog boljih uvjeta privređivanja;
- smanjuje potreba za iseljavanjem stanovništva i povećava prirast zbog poboljšanja zdravstvenih, gospodarskih i društvenih prilika;
- poboljšava zaštita i oživljavanje spomenika kulture te podstiču arheološka istraživanja, i
- povećava opće zadovoljstvo ljudi iz do sada navedenih razloga.

Nema sumnje da postoje i nepovoljni utjecaji no tu je osnovno pravilo "smanjiti popravnim mjerama nepovoljne utjecaje na najmanju i unaprijed dogovorenu mjeru".

Preseljenje domaćinstava i prenamjena zemljišta

To je najnepovoljniji utjecaj koji se uvijek ne može izbjeći jer se umjetna jezera često ostvaruju u plodnim i naseljenim riječnim dolinama. Tu pomaže jedino najranije uključivanje korisnika zemljišta u odlučivanje o rješenju. Na raspolaganju su 2 ispravna rješenja. Jedno je preseljenje seoskoga domaćinstva na bolje, a drugo je osiguranje kuće ili stana s osiguranim zaposlenjem, te odgovarajućom novčanom naknadom.

Utjecaj na kakvoću nadzemnih i podzemnih voda

Kakvoća voda u umjetnim jezerima od posebne je važnosti za vodoopskrbu, kupanje, športove na vodi te općenito razonodu. Umjetna jezera djeluju kao taložnici, pa je bistrenje vode svakako povoljan učinak na kakvoću vode. Međutim, mogući su i nepovoljni utjecaji, od kojih se posebno ističe: eutrofizacija, anoksija u prizemnim slojevima te povećanje kapaciteta kompleksiranja teških metala (Tada, F. i dr., 1982.).

Pogoršanje kakvoće vode u umjetnom jezeru utječe na promjenu kakvoće podzemne vode u slučaju kad se podzemni vodonosnik prihranjuje vodom iz umjetnog jezera. Kao uzročnik povećane trofizacijumjetnih jezera najčešće se navodi nekontrolirani ulaz fosfora. Godišnji bilans fosfornih soli, vanjskog i unutrašnjeg opterećenja, razlikuje se za "duboka" i "plitka" jezera. Utvrđivanje stanja trofije, posebno je bitno za vode koje se koriste za vodoopskrbu kao i za razonodu, zbog mogućega razvoja algi, stvaranje tvari sličnim humusnim kiselinama, povećanje koncentracije amonij-iona, te iona željeza i mangana, kao i drugih međuovisnih kemijskih i bioloških reakcija. (Tedeschi, S., 1988.).

Općenito na stanje kakvoće vode, a naročito trofije, utječu sljedeći činitelji: slivno područje (izgrađenost, korištenje zemljišta za poljoprivredu), morfologija jezera (dubina jezera, razvedenost obala), hidrodinamička izmjena vode jezera, sastav dna umjetnih jezera, posebno je bitno korištenje zemljišta prije izgradnje umjetnog jezera, te mjesto uzimanja vode iz umjetnog jezera. Bitna je razlika za kakvoću vode u umjetnom jezeru, kao i nizvodno ispuštanje vode pri dnu pregrade ili pri vrhu (Odum, E., P., 1971.).

Zaštitne mjere u slivu razlikuju se prema izvoru otpadnih tvari (Bernhardt, H. i dr., 1985.). Kod "točkastih" izvora postupci prethodnoga čišćenja voda razmjerno su jednostavni. Kod "raspršenih" izvora primjenjuju se znatno složeniji postupci kao što su prethodni spremnici za procjeđivanje i čišćenje vode u podzemlju, postupci čišćenja pritoka kemijskim obaranjem, biološko uklanjanje fosfora u prethodnim spremnicima. Kontrolu trofičnosti u umjetnom jezeru moguće je postići uklanjanjem taloga dna, intervencijama u biološkom lancu uvođenjem novih organizama, prekidanjem uslojavanja jezera miješanjem vode slojeva, prozračivanje pridnenoga sloja. Primjena kemijskih sredstava za kontrolu razvoja fitoplanktona ne može se preporučiti, a naročito ne za umjetna jezera koja se koriste za vodoopskrbu.

Utjecaj na biljni i životinjski svijet

Utjecaji se umjetnih jezera na biljno i životinjsko carstvo mogu podijeliti na direktne i indirektno utjecaje. Direktne utjecaji odnose se na promjene prirodnih uvjeta u matičnim vodotocima i trajno potopljenim površinama, a indirektni su utjecaji posljedica promjena razine podzemnih voda u zaobalju.

Direktni utjecaji ili nestajanje dijelova izvornoga staništa s pripadajućim životnim zajednicama uvjetovani su izvođenjem građevinskih radova na prostoru zaposjedanja umjetnih jezera. Međutim, ovo smanjenje staništa ne treba promatrati jednostrano jer novoformirani ekosistemi mogu postati kvalitetna staništa za naseljavanje mnogih biljnih i životinjskih vrsta vezanih na vodene ekosisteme i ekosistema uz vodu.

Naseljavanje biljnih i životinjskih vrsta u novoformirane vodene ekosisteme ovisi o geomorfološkim, hidrografskim i klimatskim uvjetima kraja u kojima su umjetna jezera locirana, te o fizičko-kemijskim i biološkim svojstvima vode kojom su jezera opskrbljena.

U umjetnim jezerima izgrađenim na mirnijim dijelovima tekućica u kojima su životne zajednice obično dobro razvijene, promjene nastale u odnosu na matični vodotok nisu velike. Međutim, mnogo su veće promjene u umjetnim jezerima koja se opskrbljuju pretežno izvorskom vodom ili vodom iz gorskih potoka. Promjene koje pretrpe životne zajednice matičnih vodotoka ovise o fizičko-kemijskim uvjetima vode na čiju modifikaciju najveći utjecaj ima dubina jezera i brzina izmjene vode.

Indirektni utjecaji na biljno i životinjsko carstvo u zaobalju, zbog mogućnosti održavanja razine podzemnih voda na zadanome nivou primjenom pasivnih i aktivnih sustava zaštite, zanemarivi su.

Utjecaj brana na kretanje predmeta i riba

Brane zaprečavaju prolaz plovećih predmeta uključujući plovila, ribe i nanose.

Za ploveće predmete mogu se na brani izraditi prolazi, za plovila se izrađuju brodske splavnice, a za ribe treba obvezno izgraditi riblje staze.

U Hrvatskoj postoje riblje staze na branama hidroelektrana na Dravi (B. Franković i dr., 1989.) (na uzvodnim hidroelektranama one ili ne postoje ili ne rade).

Zadržavanje nanosa uzrokuje smanjenje korisne zapremine jezera i sniženje dna nizvodnoga korita.

Kroz plitka jezera prolazi većina lebdećega nanosa, a vučeni se može ispirati vrlo učinkovito. Tako se npr. vučeni nanos iz nizvodnoga dijela jezera hidroelektrane "Varaždin" ispiru automatski (Franković B., 1974.). Na dubokim jezerima lebdeći se nanos može hidraulički ispirati pogodno smještenim ispustima i njihovim prikladnim načinom rada.

Sniženje dna korita sprečava se ostvarenjem nizvodnoga jezera ili rječnim pragovima.

Utjecaj na razinu pozemnih voda

Procjedne vode iz jezera utječu na razinu podzemnih voda, posebice u aluvijalnim dolinama i na jezerima s vrlo propusnim dnom. Tu se mora uređivati vodna razina odvodnim kanalima, a ponekad i odteretnim bunarima ili čak i cijevnom odvodnjom. No ishod je vrlo povoljan jer se tako ustaljuju vodne razine između nekadašnjih ekstrema na pogodnoj dubini, a ponegdje se može postići i idealno podzemno navodnjavanje.

Sklizanje zemljišta

Poradi sniženja razine vode u jezeru može nastali porni tlak ugroziti ravnotežu padine. To se rješava na uobičajen način.

Utjecaj na potresnost

Velika umjetna jezera mogu izazvati pri prvom punjenju mnogo slabih potresa i obično jedan jaki. U takvim primjerima treba do velike dubine proučiti potresnost područja i odgovarajuće riješiti branu.

Utjecaj na klimu

Iskustvo pokazuje (npr. Dobesch, H. i dr. 1977.) da mala jezera ne djeluju primjetno na klimu. S druge strane opće je poznat povoljan utjecaj velikih jezera na klimu.

Utjecaj na ljepotu krajolika

Jezera su općenito ljudima privlačna, te zajedno s branom i njoj pripadajućim građevinama predstavljaju turističku atrakciju. Pitanje je ukusa pojedinca kome se više sviđa jezero, a kome neusporena rijeka.

4. Iskustva o praćenju utjecaja na okoliš

Što se tiče inozemnoga iskustva, ovdje se izdvaja samo primjer rijeke Inn na kojoj se, zahvaljujući izgrađenim hidroelektranama i pripadajućim akumulacijama, ostvario po mnogima najljepši narodni perivoj u Srednjoj Europi (Fenz, R. i dr., 1988.).

U Hrvatskoj se pri zamišljanju i ostvarivanju umjetnih jezera uvijek mislilo i na okoliš, no najsustavnije se tome prišlo na području triju izgrađenih hidroelektrana na Dravi o čemu je mnogo i pisano (npr. Franković, B. i dr., 1978., Beraković, B. i dr., 1980., Franković, B. i dr., 1984., Beraković, B. i dr., 1986., Mišetić, S. i dr., 1986., Franković, B., 1991., Franković, B., 1994.). Na području hidroelektrane "Varaždin", koja je u pogonu od 1975. g., početa su 1979. g. istraživanja fizičkih, kemijskih i bioloških svojstava nadzemnih i podzemnih voda koja su protegnuta i na tada neizgrađenu dionicu Drave do ušća Mure. Ta su istraživanja poslužila kao jedna od osnova za prognozu utjecaja hidroelektrana na okoliš.

Važno je još istaknuti da se na području spomenutih hidroelektrana redovito prati njihov utjecaj na okoliš, što je dragocjena osnova za poboljšavanje rada cijeloga sustava višenamjenskih dravskih hidroelektrana. To praćenje pokazuje da su utjecaji povoljniji od očekivanih.

U skladu se s navedenim predlaže da se zbog svoje prirodne ljepote zaštite uzvodni dijelovi dravskih umjetnih jezera i rijeka između brana i restitucija. To je važno zbog toga što tom području prijeti devastacija zbog vađenja šljunka iz korita i otvaranja novih šljunčara.

5. Zaključak

Umjetna jezera u pravilu su neophodni dio višenamjenskih sustava za uređenje i korištenje voda i zemljišta jer se samo s njima može riješiti prirodni nesklad koji postoji između dotoka i potreba za vodom po vremenu i prostoru.

Umjetna jezera služe za opskrbu vodom, obranu od poplava, zaštitu zemljišta od izjedanja, navodnjavanje, za korištenje vodnih snaga, plovidbu, razonodu, izletništvo i šport, dakle za zadovoljavanje ljudskih potreba.

Pokazano je da umjetna jezera imaju izvanredno povoljan utjecaj na okoliš. Bitno je: osiguranje pitke vode i povećanje proizvodnje hrane i energije bez zagađivanja okoliša. Prikazani su svi relevantni utjecaji na okoliš te pokazani načini za otklanjanje ili smanjivanje nepogodnih utjecaja na unaprijed dogovorenu i prihvatljivu mjeru.

Dan je osvrt na iskustva u raspoznavanju utjecaja na okoliš u koji je uvršten primjer iz inozemstva, te primjer višenamjenskoga sustava triju hidroelektrana na Dravi u Hrvatskoj.

Primjer rijeke Inn izvanredno je poučan jer je tamo samo, zahvaljujući umjetnim jezerima, nastao narodni perivoj koji ide u red najljepših u Srednjoj Europi.

Na kraju se daje prijedlog da se Drava zaštiti na izgrađenom području zbog svoje prirodne ljepote i stoga što joj prijete devastacija zbog vađenja šljunka iz korita i otvaranja novih šljunčara.

Literatura

- Beraković, B. i Franković, B., 1980., O utjecaju na okolinu višenamjenskih hidrotehničkih postrojenja koja koriste vode velikih aluvijalnih tokova, VI savjetovanje o hidroelektranama, Mostar
- Beraković, B. i Franković, B., 1986., Hidrotehnička postrojenja na Dravi. Promjene u prostoru i poticaj razvoja, savjetovanje "Energija i ekologija", Beograd
- Bernhardt, H.; Clasen, J.; Recenti sviluppi e prospettive di recupero per i bacini artificiali usati a scopo potabile. Proceedings of International Congress: "Inquinamento a recupero dei laghi". Roma, 15-18.04.1985. 207-222
- Dobesch, H. i Neuwirth, F., 1977., Ueber den Einfluss des Stausees eines Flusskraftwerkes auf das Klima seiner Umgebung, Oesterreichische Wasserwirtschaft 29.
- Fenz, R. i Pirker, O., 1988., Power stations on the Danube and Inn rivers (Austria), ICOLD Bull. 65
- Franković B., 1974., Hidroelektrana "Varaždin", Građevinar 8/74
- Franković, B., Guštin, A. i Žugaj, R., 1978., Utjecaj hidroelektrane Varaždin na okolinu, Savjetovanje o utjecaju akumulacija na okolinu, Trebinje
- Franković, B. i Pletikapić, Z., 1984., Examples of environmental impact of hydroelectric power plants constructed in large alluvial planes, Polish-Yugoslav simposium, Gdanjsk
- Franković, B. i Beraković B., 1989., Uređenje i korištenje Drave u SRH, Građevinar, 4/89
- Franković, B., 1991., Environmental impact of hydroelectric power plants on the Drava river, ICOLD congres, Q64, R49, Wien
- Franković, B., 1994., Impact of the Drava river reservoirs on groundwater, XVIII ICOLD kongres, Durban
- Marušić, J., 1992., Analiza građenja hidromelioracijskih sustava u Hrvatskoj od 1975. do 1990. g., Građevinara br. 7
- Mišetić, S. i dr., 1986., Promjena postojećeg biološkog stanja dijela rijeke Drave nakon izgradnje sustava HE Čakovec, XIII kongres JDVB, Mostar
- Odum, E.P.; Fundamentals of Ecology. Third edition. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1971. 574 pp.

- Rubinić, J., 1994., Hidrološke karakteristike pojava iznimnih poplava na području Istre 22/23. listopada 1993., Izvanredne meteorološke i hidrološke prilike 1993. u Hrvatskoj, br. 17, Zagreb
- Rubinić, J., 1994., Poplava u Istri iz listopada 1993. i režim rada akumulacija, neobjavljeno ali prihvaćeno za "Građevinar"
- Tada, F.; Suzuki, S.: Adsorption and desorption of heavy metals in bottom mud of urban rivers. *Water Research*, 16 (1982), 1489-1494
- Tedeschi, S.: Procjena kvalitete vode jezera za rekreaciju. Zbornik radova Konferencije: "Zaštita '88". Dojran, 01-03.06. 1988.; 26-35



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Boris Beraković, Siniša Maričić

R 6-02

Mogućnosti uređenja i korištenja voda rijeke Drave neposredno uzvodno od Osijeka

SAŽETAK: *U sklopu dosadašnjih aktivnosti razmotreno je uređenje i korištenje voda rijeke Drave u Hrvatskoj, te su stvorene podloge za dugoročno planiranje rada u tom području.*

U ovom radu, polazeći od promjena koje su nastale prvenstveno u odnosu prema mađarskim partnerima, razmatra se mogućnost ostvarenja usvojene koncepcije, te se razmatraju i druga rješenja.

Cilj je rada da, na osnovi raspoloživih podloga i spoznaja, potakne daljnji rad na rješavanju uređenja i korištenja voda rijeke Drave.

KLJUČNE RIJEČI: *višeamjenska rješenja, usvojena rješenja, promjene kriterija, promjena rješenja*

Possibilities for the Drava River Water Training and Utilization Immediately Upstream Osijek

ABSTRACT: *The Drava River water training and utilization in Croatia has been considered within the framework of the already undertaken activities, and the principles for the long-term work planning are set for the region.*

The present paper, starting from the changes which are primarily related to the relationship with the Hungarian partners, discusses the possibilities for realization of the approved concept, and discusses some other solutions.

The paper is aimed at stimulating the future activity on the Drava River training and utilization on the basis of the available documentation and information.

KEY WORDS: *multipurpose river basin development studies, approved solutions, change of criteria, change of solutions*

Uvod

Rijeka Drava proteže se kroz pet država: Italiju, Austriju, Sloveniju, Mađarsku i Hrvatsku (tablica 1).

Tablica 1: Raspodjela slivnoga područja rijeke Drave među državama

PORJEČJE DRAVE = 41238 km ²	
Italija	0,2%
Austrija	52,3%
Slovenija	11,3%
Mađarska	19,5%
Hrvatska	16,7%
Ukupno	100,0%

Od njezine četiri uočljive karakteristične dionice (planinska, gornja, srednja, donja - slika 1.), donja Drava je uglavnom pogranični vodotok između Hrvatske i Mađarske što čini osnovu zajedništvu pri rješavanju vodoprivrednih pitanja između te dvije države.

Do devedesetih godina uzvodni su susjedi iskoristili sav hidroenergetski potencijal dijelova Drave, a u Hrvatskoj je uređena i izgrađena dionica Drave, uzvodno od ušća Mure u Dravu (slika 1.).

Donja Drava, Drava nizvodno od ušća Mure u Dravu, isprepletana je državnom granicom te se u tom području isprepliću i interesi dvaju susjeda Mađarske i Hrvatske. Zajednički rad na rješavanju problema vezanih uz rijeku Dravu na toj dionici počinje potpisivanjem Sporazuma o vodoprivrednim pitanjima između Vlade FNRJ i Vlade NR Mađarske, 1955. godine. Dugogodišnja suradnja dviju strana, u osmišljavanju i ostvarivanju obostrano prihvatljivih rješenja, obilovala je mnogim aktivnostima. U prvom razdoblju suradnja se odnosila na rješavanje problema poplava, zaštite obala i plovidbe. Početkom sedamdesetih godina, na osnovi zamisli, koje je svaka strana pripremila posebno počinje razdoblje osmišljavanja rješenja, koja trebaju odraziti obostrane interese. Polazeći od posebnih interesa, utvrđeni su zajednički interesi, koji se najkraće mogu opisati višenamjenskim korištenjem i uređenjem voda Drave i Mure na zajedničkoj dionici. Osim obrane od poplava, zaštite obala i plovidbe, obuhvaćeno je korištenje hidroenergetskog potencijala, poboljšanje uvjeta odvodnje i stvaranje uvjeta navodnjavanja gravitirajućih poljoprivrednih zemljišta, poboljšanje kvalitete voda, te korištenje voda za sanitarne i industrijske potrebe, ribarstvo, rekreaciju i šport. Na osnovi utvrđenih interesa pripremljen je niz zajedničkih projekata različitog stupnja razrade.

Pripremljena dokumentacija bila je osnova nadležnim organima da usvoje osnovnu zamisao, te da se potpiše nekoliko međudržavnih sporazuma.

Previranja krajem osamdesetih godina u Mađarskoj i odluke o odustajanju Mađarske od izgradnje Dunava, koju je Mađarska počela sa Slovačkom, odrazili su se i kod nas, prouzročivši zastoj u zajedničkom radu na zajedničkim višenamjenskim rješenjima na Dravi i na Muri.

Osamostaljenjem Hrvatske i promjenama u Mađarskoj, nastali su novi uvjeti suradnje i na graničnom području - području uređenje i korištenja rijeka Drave i Mure.

Interesi Hrvatske nisu se bitno promijenili, te zajednička rješenja s naše strane ne bi trebalo mijenjati. Međutim, Mađarska preispituje svoje interese i, sukladno tome, ranije usvojena zajednička rješenja. Novonastali uvjeti iziskuju i preispitivanje zajedničkih rješenja s naše strane. Prvo je preispitano rješenje VS Đurđevac, koje je gospodarski najbolje, te je predloženo da se umjesto jednog postrojenja izgrade dva, i to HE Novo Virje i HE Botovo, pri čemu se postrojenje HE Botovo pruža duž granice s Mađarskom, a HE Novo Virje se nalazi u cijelosti u Hrvatskoj.

Očigledno je, da se trebaju preispitati i druga zajednička rješenja. Ovim se materijalom ukratko upozorava na pitanja i mogućnosti uređenja i korištenja rijeke Drave neposredno uzvodno od Osijeka, na dionici, koja se nalazi u cijelosti u Hrvatskoj.

Ukratko o dosadašnjem rješenju

Na donjoj Dravi zajednički su planirana još tri višenamjenska postrojenja (slika 1.), koja se dijelom nalaze u graničnom području od Novog Virja do Svetog Đurada, a dijelom su u području koje u cijelosti pripada Hrvatskoj nizvodno od Svetog Đurada. Pri tome su VS Barč i VS Donji Miholjac u graničnom području, a VS Osijek samo je djelomice u njemu.

Radeći s Mađarima, usvojeni su nazivi vodne stepenice, odnosno stube (VS) za postrojenja nizvodno od ušća Mure, dok su uzvodna postrojenja nazvana hidroelektranama (HE). U ovom materijalu koriste se kratice VS kako je to usvojeno u zajedničkoj dokumentaciji.

Sva tri postrojenja sastoje se od uspornog jezera, koje oblikuju usporni nasipi, betonska i nasuta brana, te strojarnica i brodska prevodnica. Planiranim postrojenjima omogućuje se ostvarenje svih interesa Hrvatske na toj dionici sa stajališta uređenja i korištenja voda rijeke Drave. VS Barč je razrađeno na razini idejnog projekta, dok su nizvodna postrojenja razrađena na razini osnovnog rješenja.

Razrađujući rješenje VS Osijek razmotrene su različite lokacije zahvata (brana, strojarnica i prevodnica), na dionici od Josipovca do Belišća.

Osim spomenute zajedničke dokumentacije izrađena je posebno Vodoprivredna osnova slivova Drave i Dunava u SRH (1986/1987) i Studija vodnog režima poljoprivrednog zemljišta i otvorenih vodotoka za donji dio vodnog područja slivova Drave i Dunava (1987.). Vodoprivrednom su osnovom prihvaćena rješenja predložena u sklopu zajedničkog rada s Mađarskom.

Dosadašnji zaključci

Zajednički rad s Mađarskom rezultirao je nizom usvojenih zaključaka, pa je svojedobno pripremljen i sporazumom o namjeri građenja na Dravi, kao i o izgradnji VS Đurđevac. Tadašnja Komisija za suradnju usvojila je predloženu koncepciju uređenja i korištenja donje Drave.

Također je i hrvatski Sabor 1985. godine usvojio »Program Drava«, koji su prezentirale tadašnje zajednice općina Bjelovar, Osijek i Varaždin, a koji je polazio od izgradnje višenamjenskih postrojenja kao okosnice uređenja i korištenja rijeke Drave i zaobalja.

Danas su, s obzirom na gospodarsku vrijednost, aktivnosti usredotočene na razradu i pripremu izgradnje HE Novo Virje, no također je prigodno vrijeme da se preispita u novim uvjetima i preostali dio Drave, posebno dionica koja se nalazi neposredno uzvodno od Osijeka.

Kratak osvrt na promijenjene uvjete planiranja uređenja i korištenja voda rijeke Drave

Uređenje i korištenje voda rijeke Drave proizlazi iz interesa i potreba Hrvatske i Mađarske. Interesi obje države odnose se na zaštitu od poplava, zaštitu obala rijeke od erozije, mogućnost odvodnje zaobalnih voda, mogućnost navodnjavanja, mogućnost opskrbe vodom, korištenje vodnih snaga za proizvodnju električne energije, korištenje rijeke za promet roba, ribolov, rekreaciju, šport na rijeci, očuvanje i poboljšanje kvalitete voda, te ne manje značajan interes očuvanja prirodnih i stvorenih vrijednosti u rijeci i njezinoj okolini. Ukratko se može reći da je u interesu Hrvatske da se poveća stupanj korištenja i uređenja voda rijeke Drave uz primjereno očuvanje prirodnih i stvorenih vrijednosti.

Osnovne promjene, koje su nastale tijekom razrade i planiranja uređenja i korištenja voda rijeke Drave, ne odnose se na interese i potrebe, već na odnos prema promjenama koje nastaju izgradnjom višenamjenskih postrojenja.

Izgradnjom višenamjenskih postrojenja mijenja se dijelom režim voda u rijeci i dijelom u neposrednoj okolini (podzemne vode, ušća pritoka), te se dio zemljišta zaposjedava građevinama. Time se dijelom mijenja stanje poljoprivrednih i šumskih površina, te uvjeti života (biotopa) pojedinih životnih zajednica (biocenoza). Osim toga, stvaraju se povoljniji uvjeti života i rada pučanstva u neposrednoj okolini rijeke i zadovoljavaju se potrebe društva sa svih stajališta, uključujući i poticanje razvoja društva u cjelini. Općenito se može reći da se promjene mogu razvrstati u korisne (pozitivne), nepoželjne (negativne) i neutralne, a izbor rješenja ovisi o bilanci poželjnih i nepoželjnih promjena.

Iako se pri planiranju i izgradnji i prije posvećivala odgovarajuća pozornost promjenama prirodnih procesa, tek se u novije vrijeme, u nas praktično sredinom osamdesetih godina, pozornost javnosti izoštrila, pri donošenju odluka o građenju, na promjene koje se unose tom izgradnjom. Taj proces je dio procesa razvoja ekološke svijesti u svijetu i u Europi.

U Mađarskoj je, kao rezultat toga procesa iniciranog u razvijenim zapadnim i u srednjoeuropskim zemljama, došlo do otpora gradnji na rijeci Dunavu, ali i na Dravi. U početku demonstriranje »zelenih« baziralo se na opravdanim ekološkim zahtjevima, tj. propustima u projektima. Poslije, što dolazi i do izražaja u Mađarskoj, ekološke parole postaju dio političke borbe. Neopravdani, neargumentirani i emotivni zahtjevi uporabljaju se za stranačku i osobnu promidžbu. To šteti društvenom napretku, posebno ideji održivog razvoja jer proizašlo »konzerviranje« okoliša (primjer Mađarske) samo je jedna od metoda ekološkog djelovanja, ali ne znači nužno i ekološki pristup problemu. Javnost, uglavnom, energično napada stvarne i potencijalne uzroke i pospješivače zagađenja, ali značajno je uočiti da se, u pravilu, ne nude realne alternative koje bi slične događaje isključile. (Lit. 1, 4).

Razvijeni svijet i dalje se opredjeljuje za gradnju hidroelektrana, ali uz odgovarajući dogovor i suglasnost s pučanstvom (npr. Austrija, putem referenduma, HE na Dunavu).

Europski intelektualci (od kojih su 52 nobelovca) u Heidelberškom proglasu poručuju da ekologija nije ideologija, da ne može biti zamjena za religiju ili supstrat za ono što je bio marksizam. Odnos prema prirodi treba zasnivati na znanstvenim kriterijima, a ne na iracionalnim predrasudama, a odluke se ne bi smjele donositi na osnovi pseudoznanstvenih argumenata ili lažnih i neadekvatnih činjenica (Lit. 1).

Rezimirajući izloženo, može se reći da su interesi i potrebe i dalje prisutni nesmanjenim intenzitetom, uz povećanu brigu za očuvanje prirodnih i stvorenih vrijednosti. Pri tome s hrvatske strane to ne znači odustajanje od izgradnje, a s mađarske strane, kako se zasada čini, znači odustajanje ili odgađanje izgradnje (u tijeku je preispitivanje odnosa prema izgradnji građevina na rijeci Dunavu).

Naznaka mogućeg rješenja

Iz izloženog slijedi da se uređenju i korištenju rijeke Drave treba pristupiti uz pretpostavku zajedničkog rada s Mađarskom i uz mogućnost samostalnog rada na dijelu koji je u cijelosti u Hrvatskoj. Dosadašnja proučavanja pokazala su rješenja, koja se ostvaruju zajedničkom aktivnošću. Promjenom odnosa Mađarske prema uređenju i korištenju voda rijeke Drave mijenja se vrijednost usvojenih rješenja. Kao moguće rješenje nameće se uređenje i korištenje dionice toka Drave između mjesta odvajanja rijeke od državne granice kod Svetog Đurađa i grada Osijeka, na dionici dugoj oko 40 km.

Mogu se izdvojiti dvije osnovne koncepcije uređenja rijeke - rješenje koje omogućava korištenje vodne energije i rješenje koje to ne omogućava. Skupina rješenja koja omogućavaju korištenje vodne energije polaze od izgradnje usporne građevine. Ta rješenja, ovisno o visini podizanja vode u rijeci, omogućavaju i gravitacijsko navodnjavanje okolnih poljoprivrednih zemljišta.

U nastavku se daje nekoliko podataka o jednom od mogućih rješenja s energetskog stajališta, polazeći od toga da se ostvaruju i ostali nabrojani interesi i potrebe.

Gradnjom brane i obodnih nasipa moguće je ostvariti akumulaciju koja bi se, ovisno o smještaju brane (neposredno uzvodno od uže zone grada, ili uzvodnije) mogla protezati na oko 40 km dugom dijelu korita Drave. Pri srednjem protoku ($555 \text{ m}^3/\text{s}$) na raspolaganju je oko 6 m pada.

HE Osijek bila bi priborskog tipa, a koristila bi pad dobiven povišenjem razine Drave pregrađivanjem korita. Veličina akumulacije bila bi dostatna za potpuno dnevno reguliranje dotoka. Moguća usporna kota vode u jezeru procjenjuje se na 89,0 m n.m., što uz instalirani protok od $960 \text{ m}^3/\text{s}$ upozorava na neto pad od oko 4,5 m. Postrojenje bi raspolagalo instaliranom snagom od oko 36 MW.

Za omeđivanje jezera, zbog niskih obala, treba izgraditi nasipe visine 4,5 m. Kao građevinski materijali predviđaju se priručni prahovi i šljunci, s tim da se s uzvodne strane nasipa izvodi asfaltbetonska obloga zbog zaštite od procjeđivanja i erozije valova. Zaposjele bi se uglavnom inundacije, ali, manjim dijelom i korištene površine.

Korito rijeke pregrađuje se nasutom branom od lomljena kamena s vertikalnim glinobetonskim zastorom te uzvodnom zaštitom asfaltbetonskom oblogom. Za takve radove u Hrvatskoj su stečena dragocjena iskustva.

Čvor zahvata činili bi pokretna (armirano-betonska gravitacijska) brana sa segmentnim zapornicama u preljevnim poljima, strojarnica i brodska prevodnica s ribljom stazom. Pri izgradnji i opremanju objekata moglo bi se u potpunosti osloniti na lokalne materijale, a djelomice i na domaću opremu.

Takvom hidroelektranom prosječno bi se godišnje proizvodilo oko 200 GWh električne energije, a to je oko 1,5% prosječne godišnje potrošnje u zadnjih desetak godina u Hrvatskoj.

Zaključak

Na kraju ovoga kratkog prikaza može se zaključiti da su nastupile promjene u mogućnostima daljnje suradnje s Mađarskom u izgradnji višenamjenskih postrojenja na rijeci Dravi. Polazeći od interesa i potreba Hrvatske, te naznačenog mogućeg rješenja, koje se može ostvariti u cijelosti u Hrvatskoj, pokazuje se korisnim nastaviti istraživanja i proučavanja mogućnosti što boljeg cjelovitog iskorištenja i uređenja rijeke Drave u novim uvjetima. Pri tome nisu isključene mogućnosti i zajedničkog rada, kad se za to stvore uvjeti.

Literatura i podloge

1. Bergman, B.: Sustav vodnih stepenica Gabčikovo-Nagymaros na dunavu: Karakteristike, problemi, sporovi i refleksi na naše planove na Dravi; Hrvatska vodoprivreda, br. 6 (II), str. 10.-12. Zagreb, veljače 1993.
2. Petrićec, M., Šimundić, N.: Hidroenergetski potencijal i problemi daljnjeg razvoja korištenja vodnih snaga; Hrvatske vode, br. 1(I), str. 13.-16. Zagreb, svibnja 1993.
3. Bergman, B., Hatić, Đ., Mahmutović, Z.: Energetsko iskorištavanje voda: HE Novo Virje; Hrvatska vodoprivreda, br. 18 (III), str. 22.-28. Zagreb, ožujka 1994.
4. Miletić, P., Mayer D.: serija članaka O ekologiji i vodi; Hrvatska vodoprivreda, Zagreb, br. 7. (II.), str. 14.1-5. str., ožujka 1993., br. 16(III), str. 14.-16. siječnja 1994.
5. Tušar, B.: Kvaliteta vode rijeke Drave; Međunarodna konferencija o Dravi - zbornik, str. 95.-105. Maribor, 28. i 29. svibnja 1992.
6. Hatić, Đ.: Energetsko iskorištenje Drave u Hrvatskoj; Međunarodna konferencija o Dravi - zbornik, str. 95.-105. Maribor, 28. i 29. svibnja 1992.
7. »Vodoprivredna osnova za vodno područje Drave i Dunava u SR Hrvatskoj«; VRO Drava - Dunav, Osijek, 1986.
8. »Sistem vodnih stepenica Đurđevac i Barec - Idejni projekt«, Elektroprojekt Zagreb, OVP Osijek i VIZITERV Budapest, Zagreb - Budapest, 1979.
9. »Uređenje i korištenje dionice Drave nizvodno od Baresa - Terezinog polja - Zajednički jugoslavensko-mađarski osnovni projekt«; Elektroprojekt Zagreb, Institut za elektroprivredu Zagreb, VIZITERV Budapest, rujna 1985.
10. »Zaštita kombinata Belišće - Idejno rješenje«; Elektroprojekt Zagreb, Zagreb, travnja 1991.
11. »Mogući scenariji razvoja elektroenergetskog sustava Hrvatske«; Institut za elektroprivredu Zagreb, Zagreb, 1991.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Mladen Petrićec, Branko Grgić,
Mirjana Švonja

R 6-03

Pristup uređenju, korištenju i zaštiti voda sliva rijeke Cetine

SAŽETAK: *Prostorno uređenje, racionalno korištenje i upravljanje vodama, zaštita voda i očuvanje zdravog okoliša predstavljaju strateški interes Hrvatske države, koji je u velikoj mjeri moguće realizirati sustavnim integralnim planiranjem i upravljanjem, uvažavajući potrebe i interese svih korisnika voda unutar određenoga prostora.*

Razina uređenja prirodne sredine, raspoložive informacije, te kadrovske i materijalne mogućnosti naše države, ukazuju na potrebu pažljivoga ulaganja i zahvata u području vodnih resursa, temeljenih na sustavnom pristupu u rješavanju problema i postizanja utvrđenih ciljeva, te koordiniranom djelovanju kako neposrednih korisnika voda i prostora tako i šire društvene zajednice. Kompleksno sagledavanje problematike, planiranje, odlučivanje, upravljanje i organizacija pojedinih aktivnosti u okviru vodnih resursa mora se temeljiti na širokom spektru podataka (meteorološki, hidrološki, geološki, pedološki, sociološki, ekološki, gospodarski itd), simulacijskim i prognostičkim modelima, te odgovarajućim organizacijskim formama i administrativnim mjerama koje će omogućiti realizaciju takovih projekata.

Uvažavajući navedene postavke elektroprivreda i vodoprivreda su kao dominantni korisnici voda, pokrenuli kompleksna istraživanja slivnog područja rijeke Cetine. Kroz realizirana istraživanja definirana je prirodna osnova, i proveden razvoj hidroloških simulacijskih i prognostičkih modela, te utvrđene smjernice i ciljevi daljnjeg razvoja projekta upravljanja hidrosustavom Cetine. U radu će se dati prikaz provedenih istraživanja u okviru informatičke osnove i matematičkih simulacijskih modela za potrebe efikasnijeg korištenja i upravljanja vodama sliva Cetine.

KLJUČNE RIJEČI: *vodni resursi, vodoprivreda, hidroenergetika, matematičko modeliranje, integralno upravljanje vodama*

An Approach to the Cetina River Catchment Regulation, Use and Protection

ABSTRACT: *Development planning, reasonable water resources use and management, water resources protection and environmental conservation are the strategic interests of the Croatian state. These objectives are achievable through the integrated planning and management which respects all the needs and interests of all water users within a specified region.*

Mladen Petrićec, dipl.ing.građ., Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb
Mr. Branko Grgić, dipl.ing.građ., Hrvatska elektroprivreda, Split
Mr. Mirjan Švonja, dipl.ing.građ., Hrvatska vodoprivreda, OJ Split

The level of the natural environment development, available data, and Croatian human and financial resources indicate the need for careful investment and activities in the water resources. The actions should be based on a systematic approach to problem-solving and achievement of specified objectives, and coordinated activity of both immediate water and space users and the community in general. The comprehensive analysis of all issues, planning, decision-making, management and organization of each activity related to the water resources must be based on a wide array of data (meteorological, hydrological, geological, pedological, sociological, environmental, economic, etc) and forecasting models and adequate organizational forms and administrative measures which shall enable realization of this type of project.

With respect to the said concept, the Croatian National Electricity and Water Resources Management Authority, as the major water resources users, have initiated complex investigations in the Cetina River catchment area. The investigations were the basis for determination of the natural background. The hydrological simulations and prognostic models were developed and guidelines and objectives of future development of the Cetina Hydropower System management determined. The paper describes conducted investigations based on the information data and mathematical simulation models requested for more efficient utilization and regulation of the Cetina River catchment.

KEY WORDS: *water resources, water resources management, hydropower generation, mathematical modelling, integrated water resources management*

1. Uvod

Iako osnovni principi hidrauličkoga inženjerstva sežu daleko u prošlost prije naše ere, istraživanje prirodnog fenomena kao što je hidrološki ciklus i primjena na upravljanje hidrosustavima započinje s intezivnim razvojem početkom šezdesetih godina, a naročito posljednjih dvadeset godina, kada se pojavljuje niz tehnika vezanih za planiranje i upravljanje u području vodnih resursa.

Razvoj sve složenijih hidrosustava u tehničkom i gospodarskom smislu potiče iznalaženje složenijih tehnika modeliranja, koje se vrlo teško primjenjuju u realnim uvjetima. Naročito zbog složene informacijske osnove i kompleksnosti matematičkih modela i procedura koje treba provoditi.

Radi unapređenja upravljanja izgrađenim višenamjenskim hidrosustavom Cetine pokrenute su krajem osamdesetih godina aktivnosti na istraživanju i izučavanju ovog izuzetno složenog sustava, koje se primjereno našem gospodarskom i kadrovskom potencijalu odvijaju postupno. Dosad je definirana prirodna sredina, stanje izgrađenosti na slivu i postojeća informacijska osnova, te proveden razvoj simulacijskih/prognostičkih modela. Optimalizacijski modeli, zbog složenosti hidrosustava i funkcije cilja nisu razvijani.

U radu će se prikazati temeljni ciljevi istraživanja, stanje informacijske osnove i karakteristike simulacijskih modela.

2. Prirodna sredina i izgrađenost sliva

Rijeka Cetina sa svojim širim slivom, ukupne površine oko 4000 km², ubraja se među najveće vodotokove Dinarskoga krša. Pretežiti dio svojih voda dobiva iz krških vrela duž lijeve obale. Odlikuje se brzim promjenama protoka čiji srednji godišnji prosjek na ušću u more iznosi 116 m³/s. Ukupni pad Cetine od izvora do ušća je 382 m. Zbog takvih svojstava odavno je privukla pažnju energetičara.

Tako je već 1912. godine izgrađena prva etapa HE Kraljevac. Izgradnjom akumulacije i HE Peruća 1960. godine, u velikoj se mjeri regulira nizvodni protok Cetine. Puštanjem u rad I. faze HE Zakućac 1962, a 1981. godine i II. faze znatno je povećan stupanj iskoristivosti voda Cetine. Uključivanjem HE Orlovac, koja koristi vode livanjskoga horizonta, u sustav 1973. godine, u velikoj mjeri je postignuto izravnane vode Cetine. HE Đale je posljednja izgrađena hidroelektrana u slivu, završena 1989. godine, a koristi potencijal Cetine između Sinjskoga polja i bazena Prančevići.

Značaj sustava Cetine u hidroenergetici Hrvatske je neprijeporan. Prosječna godišnja proizvodnja energije na slivu Cetine iznosi oko 2750 GWh što čini oko 41 % ukupne proizvodnje hidroenergije u Hrvatskoj. Po instaliranoj snazi od 912 MW hidroenergetski sustav Cetine čini 48 % sustava na području Hrvatske.

Od vodoprivrednih aktivnosti i objekata značajni su melioracijski zahvati u Sinjskom polju, koji su započeli još 1939. godine, a nastavljeni 1948. godine radovima na regulaciji korita Cetine i izgradnji vodozaštitnih nasipa, kako bi se osiguralo propuštanje voda 100 godišnjeg povratnog perioda. Zaštita Sinjskog polja od zaobalnih voda ostvaruje se lateralnim kanalima, dok se unutrašnje vode rješavaju odvodnim kanalima korištenjem crpnih stanica.

Za razliku od Sinjskoga, u Hrvatačkom polju nisu provedeni nikakvi regulacijski radovi, tako da je izloženo redovitom plavljenju.

Na ukupnom slivu Cetine postoje mreže postaja putem kojih se prikupljaju podaci neophodni za praćenje stanja okoliša. Za to su postavljene 34 hidrološke postaje (dvije za mjerenje temperature vode), 50 meteoroloških postaja i 2 seizmografa. Za praćenje stanja podzemnih voda postoji 215 piezometara, a na 8 lokacija prate se kemijsko-bakteriološke osobine vode.

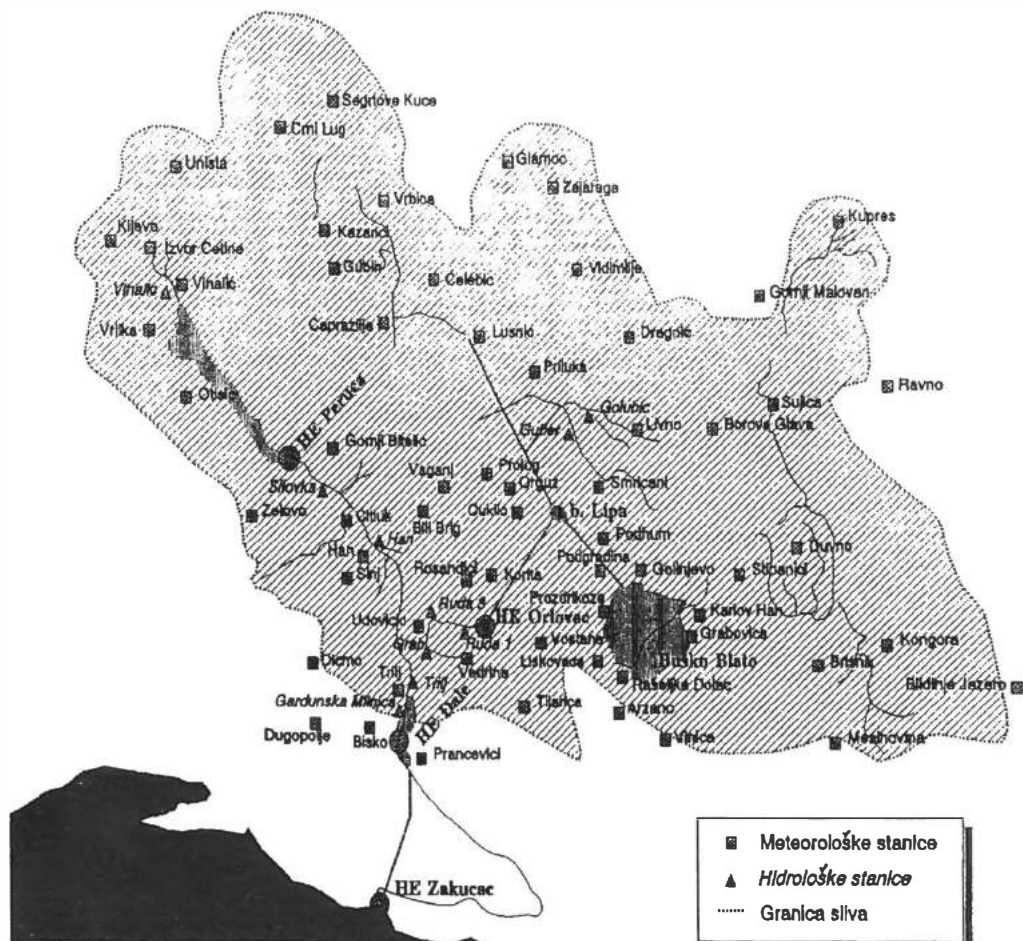
Osim proizvodnje električne energije, izgradnjom hidroenergetskog sustava omogućena je vodoopskrba srednjedalmatinskih otoka i makarskog područja. Akumulacije izravnavaju velike vodne valove, a u razdobljima malovodnosti povećavaju dotoke u izvorišne zone rijeke Jadro i Žrnovnice, najvitalnijeg interesa velike aglomeracije Kaštelanskoga zaljeva.

Upravo ta dva velika prirodna resursa, sliv rijeke Cetine i šire područje Kaštelanskog zaljeva, koji se rubno i fizički dodiruju, a svojim međusobnim utjecajima višestruko prožimaju, trebaju biti područje izrazitoga zanimanja društveno-gospodarskih i znanstveno-stručnih struktura Dalmacije i Hrvatske.

3. Osnovni uvjeti i cilj istraživanja na slivu

U uvjetima sve većih potreba za vodom, a time i sve većih zahtjeva za unapređenjem planiranja i upravljanja vodama radi boljšeg iskorištenja, ali i zaštite od zagađenja, razvoj i korištenje energetskih i vodoprivrednih objekata postaje sve složenije.

Imajući to na umu kod istraživanja na slivu Cetine, zahtjevi su usmjereni na utvrđivanje stanja prirodne sredine i iznalaženja mogućnosti za povećanje pouzdanosti, kvalitete i efikasnijega korištenja podataka koji se prikupljaju na slivu. Pouzdani i pravodobno raspoloživi podaci čine nužne pretpostavke za efikasnije planiranje, upravljanje i gospodarenje, s ciljem iznalaženja društveno prihvatljivoga kompromisa između prouzrokovanih poremećaja prirodne sredine i potrebe društvenog i privrednog razvoja. Uključivanjem u sustav simulacijskih tehnika moguće je (dugoročno i kratkoročno) ostvariti koristi na slivu koje se očituju u pouzdanijoj obrani od poplava, većoj proizvodnji energije, sigurnijoj zaštiti okoline, sigurnosti objekata, te dati pozitivan doprinos ostalim vidovima korištenja voda.



Slika 1. Slivno područje Cetine
 Fig. 1. Cetina river watershed

Uvažavajući naprijed postavljene ciljeve provedena studijska istraživanja (lit. 1) su u većoj ili manjoj mjeri obradila i definirala sljedeće cjeline:

- sustav za prikupljanje, prijenos i obradu podataka
- hidrometeorološku bazu podataka
- matematičke modele za simulaciju meteoroloških, hidroloških i hidrauličkih pojava
- hidrološke prognostičke modele
- model za operativno planiranje rada hidrosustava.

Naravno da realizacija istraživanja ovako složenoga sustava zahtijeva kako stručna, tako i značajna financijska sredstva i da je dugoročnoga karaktera. Također treba imati na umu da prijenos znanja i tehnologije u ovom području mora biti postupan i temeljiti se na razvoju vlastitih kadrova i primjeni rezultata svjetskih znanja i iskustava.

Razvojem informatičke osnove i simulacijskih modela, te uspostavom kadrovske i materijalne osnove, stvorit će se uvjeti za donošenje najpovoljnijih odluka (dugoročnih i kratkoročnih), vezanih za upravljanje objektima na slivu uvažavajući:

- sigurnost hidroenergetskih objekata
- sigurnost nasipa i smanjenje šteta od poplava
- zadovoljenje potreba elektroenergetskog sustava
- zadovoljenje potreba ostalih korisnika voda.

U postojećim uvjetima upravljanja, upravljačke odluke donose se na temelju neposredno definiranih zahtjeva elektroenergetskog sustava, informacija o stanju sustava (razine vode u akumulacijama), iskustvu i procjenama na osnovi raspoloživih hidroloških i meteoroloških podataka sa sliva.

Uvođenjem sustava za prikupljanja i prijenos podataka sa sliva i matematičkih simulacijskih modela, te procedura njihovog korištenja, realno je moguće povećati učinkovitost korištenja izgrađenih objekata. Svjetska iskustva pokazuju da je uvođenjem informacijskih sustava i simulacijskih modela s upravljačkim procedurama moguće povećati efikasnost korištenja vodnih resursa do nekoliko postotaka (lit. 2). Koliki je to financijski iznos samo za energetiku, nije teško procijentiti kada se zna da je prosječna godišnja proizvodnja električne energije na slivu Cetine oko 2.3 milijarde kwh.

4. Osnove upravljanja hidrosustavom Cetine

Prema podacima Svjetske meteorološke organizacije, sustavi za operativno upravljanje vodnim resursima s različitom namjenom i opsegom (obzirom na korištenje voda i karakteristike slivnog područja) značajno se razvijaju posljednjih 20 - 30 godina. Razvijeni sustavi se prvenstveno koriste za potrebe obrane od poplava, zatim u proizvodnji hidroenergije, plovidbi, opskrbi vodom, navodnjavanju i poboljšanju kvalitete vode.

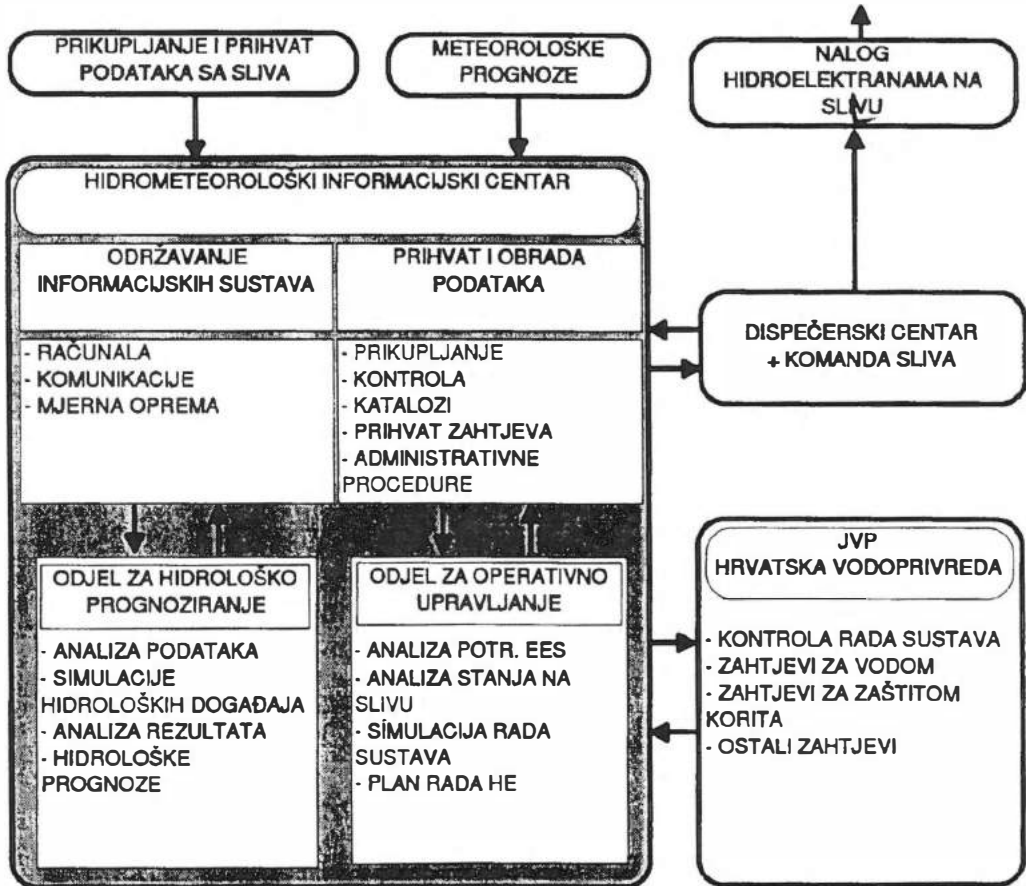
Provedena istraživanja na slivu Cetine orijentirana su prvenstveno za potrebe energetike i vodoprivrede. Posebno je dan značaj definiranju načina prikupljanja, sistematizacije i čuvanja hidroloških, meteoroloških podataka, podataka s objekata, te simulacijskim modelima za hidrološko prognoziranje i upravljanje izgrađenim sustavom, objedinjenim u **Hidrometeorološkom informacijskom sustavu Cetine (HISC)**. Moguća organizacijska struktura i osnovne funkcije HISC-a prikazane su na slici br. 2.

Proces planiranja rada sustava Cetine sadrži dvije međusobno povezane cjeline:

- Dugoročno planiranje rada sustava od godinu dana unaprijed (vremenska jedinica mjesec ili tjedan) temelji se na programskom paketu za energetske planiranje i HEC-5 (lit. 4) za planiranje obrane od poplava. Obrade se temelje na povijesnim hidrološkim podacima, stanju izgrađenosti sustava i procjenama potreba za vodom, energijom i zaštitom voda.
- Operativno planiranje rada sustava provodi se u okviru usvojenoga dugoročnoga plana rada, uz modifikacije koje uvažavaju hidrološke podatke i postavljene zahtjeve u realnom vremenu. Operativno za tjedan dana s jedinicom dan provodi se hidrološko prognoziranje korištenjem modificiranoga modela SSARR (lit. 3). Upravljačkim simulacijskim modelom za hidroproizvodnju HEC-5 (obrana od poplava i proizvodnja energije) provodi se valorizacija alternativnih upravljačkih odluka.

Na temelju rezultata provedenih istraživanja, može se zaključiti da je uspostavljeni model riječnoga sliva temeljen na programskom paketu SSARR ispunio očekivanja u

pregledu dobivanja hidroloških prognoza u kontrolnim točkama sliva. Razvijeni simulacijski model za tjedno upravljanje hidroproizvodnjom na slivu, temeljen na programskom paketu HEC-5, predstavlja efikasno oruđe za detaljne analize različitih varijanti upravljanja hidrosustavom, uvažavajući hidrološke prognoze i potrebe za električnom energijom. Usporedbom analiziranih varijanti rada sustava omogućuje se donositelju odluke izbor najpovoljnijega plana rada hidrosustava na slivu Cetine.



Slika 2. Hidrometeorološki informacijski sustav Cetine
Fig. 2. The Cetina hydrometeorological information system

5. Zaključak

Nužnost nacionalnog gospodarskog rasta, s tim u vezi i prihvatljiv regionalni razvoj uz zaštitu okoliša, ističu sve veće potrebe za kvalitetnom vodom i prostorom, te zahtijevaju sustavni pristup uređenju, korištenju i upravljanju raspoloživim resursima. Temelj su planiranju svakog razvoja kvalitetni informacijski sustavi s bazama podataka, te modeli za istraživanje utjecaja donošenja pojedinih odluka.

Dosadašnja istraživanja u području korištenja i upravljanja vodnim resursima, a provedena u okviru elektroprivrede i vodoprivrede nastoje uključiti sva pozitivna svjetska iskustva u tom području te ih na odgovarajući način uklopiti u naše specifične uvjete. Upoznavanje autora sa znanjima i iskustvima susjednih zemalja pokazuju da nisu

problemi u stručnim znanjima već u organiziranom, dugoročnom i sustavnom opredjeljenju za određene razvojne pravce u okviru uređenja, korištenja i zaštite vodnih resursa. Kako je voda dio suvereniteta i strateški resurs države Hrvatske i njeno relativno bogatstvo, treba u tom pravcu odrediti naše opredjeljenje i stvoriti preduvjete za održivo gospodarenje i upravljanje vodama kao dragocjenim i osjetljivim prirodnim bogatstvom. Pokrenuta istraživanja na slivu Cetine su jedan od značajnih koraka u tom smjeru, a moguća ograničenja ne predstavljaju znanja stručnjaka već nepostojanje formiranih ciljeva i razrađenih kriterija na svim razinama od Vlade do korisnika voda. To se očituje naročito pri razvoju dugoročnih projekata kroz koje bi se mogla proširiti kadrovska osnova i steći nove spoznaje za efikasno planiranje, uređenje i korištenje vodnih resursa.

Smatramo da je projekt, koji je pokrenut radi unapređenja upravljanja višenamjenskim hidrosustavom na slivu Cetine i koje elektroprivreda i vodoprivreda zajednički provode, dobar putokaz za ostvarenje navedenih ciljeva. Dobiveni rezultati s velikom sigurnošću ukazuju na moguće povećanje efikasnosti korištenja voda na slivu Cetine zasnovanih na planiranim istraživanjima za dugoročno i kratkoročno planiranje rada hidrosustava Cetine.

Literatura

1. Osnove upravljanja hidroenergetskim sistemom sliva Cetine, Zagreb 1990. godine, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb i Hidroprojekt, Zagreb sa suradnicima
2. Nemeč, J.: Hydrological Forecasting, Design and Operation of Hydrological Forecasting System, D. Reidel Publishing Company, Holland 1986.
3. Program description and user manual for SSARR model (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation) US Army Engineer Division, North Pacific, 1982.
4. HEC-5, Simulation of Flood Control and Conservation System, US Army Engineering Center, 1982.
5. Loucks, D.L. i ostali: Water Resource System Planning and Analysis, Prentice-Hall, Inc. New Jersey 1981.
6. D.C. Major i ostali, Applied Water Resource System Planning, Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 1979
7. O.T. Sigvaldason, A Simulation Model for Operating a Multipurpose Multi-reservoir System, Water Resources Research, Vol.12, No. 2, 1976.
8. Gospodarenje prostorom Kaštelanskog zaljeva, Sveučilište u Splitu i HAZU Zagreb, Split 1993. godine.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Željko Vidaček, Vladimir Sečen,
Stevo Husnjak, Mario Sraka

R 6-04

Utjecaj hidroenergetskoga sustava Kosinj na poljoprivredu Lipova polja u Lici

SAŽETAK: *Hidroenergetski sustav Kosinj na rijeci Lici dio je izgrađenoga sustava Lika-Gacka. Područje je Lipova polja prije konačne izgradnje sustava učestalo plavljeno. Poljoprivredna proizvodnja nesigurna je i ekstenzivna. Izgradnjom akumulacije Kosinj značajno se smanjuju poplave Lipova polja, gdje se predviđa detaljno uređenje poljoprivrednoga zemljišta površine 821 hektar. Mjere uređenja zemljišta uključuju osnovnu i detaljnu odvodnju, agromelioraciju i natapanje rentabilnih kutura. Utjecaj hidroenergetskoga sustava Kosinj na poljoprivredu Lipova polja razmatran je kompleksno sa agroekološko-zemljišnoga, hidrotehničkoga i poljoprivredno-proizvodnoga aspekta.*

Efekti uređenja zemljišta i intenzivirane poljoprivrede izražavaju se financijskim pokazateljima. Na Lipovu polju dobit je u biljnoj i stočarskoj proizvodnji 4.663.288,00 kn. Na Kosinjskome polju izgubljena je dobit 679.245,00 kn. Troškovi projekta su 2.136.223,00 kn. Ostatak je ili dobit 1.847.820,00 kn.

KLJUČNE RIJEČI: *poplave, akumulacija, odvodnja, natapanje, agromelioracije, zemljište, poljoprivreda*

Kosinj Hydropower System Impact on Agricultural Activities in the Lipovo Polje, Lika

ABSTRACT: *The Kosinj Hydropower System on the Lika River is a part of the completed Lika-Gacka system. The Lipovo Polje area had been frequently flooded before the system construction. The agricultural production was uncertain and extensive. The Kosinj reservoir construction shall considerably reduce flooding of the Lipovo Polje. The detailed development of 821 ha of agricultural land is planned. The land development measures include construction of canal networks and pipe drainage, agricultural reclamation and irrigation of profitable cultures. The influence of the Kosinj system construction on the agricultural activities in Lipovo Polje has been comprehensively analyzed from the agroecological, hydraulic engineering and agricultural production aspects.*

The effects of land development and intensive farming are shown through the financial indices. The profit from the plant and husbandry production in Lipovo Polje is KN 4,663,288.00. The loss of profit in Kosinjsko Polje is KN 679,245.00. The project costs are KN 2,136,223.00. The balance or profit is KN 1,847,820.00.

KEY WORDS: *floods, reservoir, drainage, irrigation, agricultural reclamation, land, agriculture*

Dr. Željko Vidaček, red. prof., mr. Stevo Husnjak, dipl. ing. agr. i Mario Sraka, dipl. ing. agr., Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vladimir Sečen, dipl. ing. kult. teh. - Elektroprojekt inženjering d.d. Zagreb

Uvod

Planirani hidroenergetski sustav Kosinj na rijeci Lici sastavni je dio izgrađenoga hidroenergetskoga sustava Lika-Gacka. Prije konačne izgradnje sustava, područje Lipova polja učestalo je plavljeno velikim vodama rijeke Like. Plavljena su potencijalno plodna aluvijalna tla livada, pašnjaka i oranica. Izgradnjom planirane brane i akumulacije Kosinj značajno se smanjuju poplave tog područja i to će, uz hidrotehničke i agrotehničke melioracije, kvalitativno i kvantitativno promijeniti zemljišne uvjete poljoprivrede.

Promatra li se hidrološki proces u nekome profilu vodnoga toka, zapažaju se kontinuirane promjene protoka i vodostaja koje se hidrološkim metodama mogu definirati određenim zakonitostima. S druge strane, čovjekova potreba za vodom ne slijedi hidrološke zakonitosti, pa se već davno pojavila potreba za regulacijom i uređenjem vodnoga režima. Ključni objekti za izravnane vode, odnosno regulaciju i uređenje vodnog režima, akumulacijska su jezera. Njihova je osnovna uloga, u smislu regulacije vodnoga režima, prikupljanje voda onda kada se one javljaju u većim količinama i njihova potrošnja onda kad su one u hidrološkome procesu deficitarne.

Prema svojoj namjeni, planirano akumulacijsko jezero Kosinj u okviru postojećega hidrotehničkog sustava uređenja vodnoga režima rijeka Like i Gacke služi za prihvatanje značajnih prelijevnih voda iz akumulacijskoga jezera Kruščica, za njihovo energetske korištenje, zatim za obranu od poplave nizvodnoga područja Lipova polja, za vodoopskrbu i natapanje rentabilnih kultura i/ili sistema biljne proizvodnje.

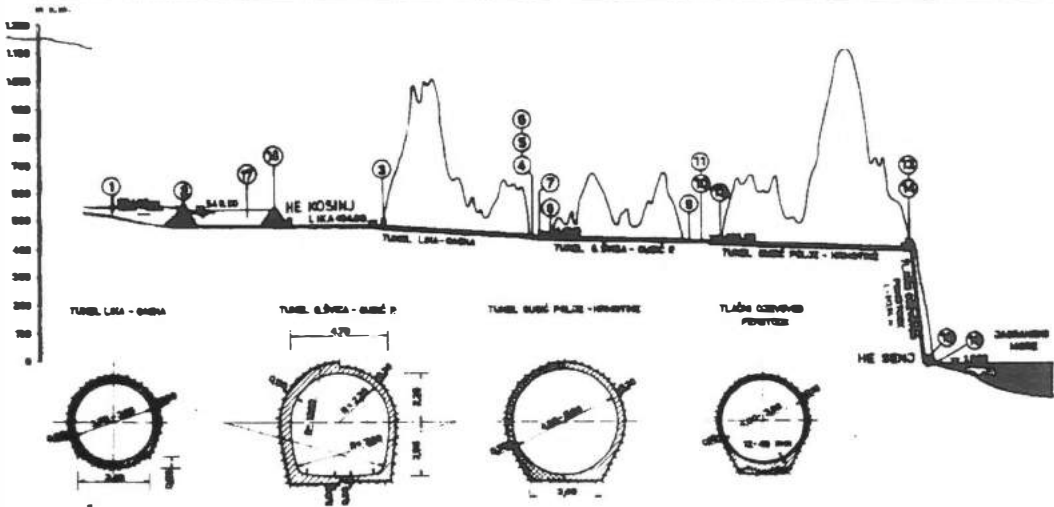
1. Hidroenergetski sustav Lika-Gacka

Energetsko iskorištenje hidropotencijala rijeka Like i Gacke ostvaruje se na hidroelektranama Sklope i Senj. Izgrađeni se sustav sastoji od nasute brane Sklope koja formira akumulacijsko jezero Kruščica na rijeci Lici, pribranske hidroelektrane Sklope, brane i bazena Selište te tunela Lika-Gacka kojim se vode iz sliva Like usmjeravaju u sliv Gacke. Vode Like i Gacke spajaju se u čvoru Šumečica, odvode kanalom Lika-Gacka, tunelom Gornja Švica-Gusić polje, te kanalom Marasi-Gusić polje ulaze u bazen Gusić polje. Tlačnim tunelom Gusić polje - Hrmatine i tlačnim cjevovodom privode se na HE Senj. Na slici je prikazan uzdužni profil navedenoga sustava, u kojem je pored derivacijskih objekata i izgrađenog akumulacijskoga jezera Kruščica korisnog volumena $130 \times 10^6 \text{ m}^3$ projektirano akumulacijsko jezero Kosinj.

Na slivnom području postoji čitav niz manjih potoka i bujica od kojih je značajniji potok Kosinjski Bakovac. Srednji godišnji dotoci i srednji godišnji volumeni dotoka za analizirano razdoblje od 1926. do 1985. godine prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Srednji godišnji dotoci i srednji godišnji volumeni dotoka
Table 1: Mean annual discharge and mean annual volume

Vodotok	Q_{sr} (m^3/s)	V_{sr} god (10^6 m^3)
Lika	27,474	866,42
Bakovac	1,285	40,52
Gacka	15,646	493,41
Ukupno:	44,405	1 400,35



TUMAČ - EXPLANATION :

- | | |
|---|---|
| 1. Akumulacija - Storage Basin - Kruščica | 10. Akumulacija - Storage Basin - Gusić Polje |
| 2. Pregrada - Dam - Sklope | 11. Preljevna brana - Dam - Gusić Polje |
| 3. Brana i ulazni uređaj - Dam and Intake - Seliste | 12. Ulazni uređaj - Intake - Gusić Polje |
| 4. Brana - Dam - Vivoze | 13. Vodna komora - Surge Tank |
| 5. Regulacija - River - Gacke | 14. Zasunska komora - Valve Chamber |
| 6. Brana - Dam - Šumečica | 15. Strojarnica - Power House |
| 7. Kanal - Canal - Lika - Gacka | 16. Odvodni tunel i izlazna građevina - Tail - Race |
| 8. Ukazni uređaj - Intake - Gornja Švica | 17. Akumulacija - Storage Basin - Kosinj |
| 9. Kanal - Canal - Marasi - Gusić Polje | 18. Pregrada - Dam - Kosinj |

Slika 1. Uzdužni profil
Figure 1. Longitudinal section

U slivu Bakovca i Gacke iz hidrogeoloških i topografskih razloga nije moguće ostvariti značajniji akumulacijski prostor. Odnos korisnog volumena akumulacijskog jezera Kruščica i srednjega godišnjeg volumena dotoka Like iznosi oko 0.15, a ako se promatra ukupan sustav, taj odnos pada na 0.093.

Temeljem izneseno ga proizlazi i usvojeni način gospodarenja vodama na slivu, odnosno glavnoj energetskoj stepenici HE Senj, a to je prioritarno korištenje voda Gacke i Bakovca s dopunjavanjem do instalirana protoka ($Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$) iz akumulacijskog jezera Kruščica. Iz navedenih odnosa korisnoga volumena izgrađena akumulacijskoga jezera i srednjih godišnjih dotoka glavnih vodotoka, vidljiva je relativno mala mogućnost regulacije i gospodarenja vodama što ima za posljedicu značajne preljevne gubitke koji, prema mjernim podacima za razdoblje od 1969. do 1986., iznose prosječno $307,86 \times 10^6 \text{ m}^3$ što čini oko 35% srednjega godišnjeg dotoka Like, odnosno oko 22% srednjeg godišnjeg dotoka svih vodotoka u ovom sustavu.

U prirodnome stanju, rijeka je Lika ponornica s glavnom ponorskom zonom u Lipovu polju. Bujični karakter rijeke i kapaciteti ponora uvjetovali su višekratno godišnje poplavljanje Lipova polja koje je, s hidrotehničkog stajališta, služilo kao retencija. Izgradnjom akumulacijskoga jezera Kruščica i tunela Lika-Gacka smanjene su po čestoći i trajanju poplave u Lipovu polju, ali su one i danas glavni ograničavajući čimbenik intenzivne poljodjelske proizvodnje.

Iz navedenih se razloga prišlo istraživanju i projektiranju značajnijeg akumulacijskog prostora, akumulacijskoga jezera Kosinj, koji kod maksimalnog radnog vodostaja na koti 540 m n.m. ima ukupni volumen od $450 \times 10^6 \text{ m}^3$, a zajedno s ukupnim volu-

menom akumulacijskoga jezera Kruščica $591.5 \times 10^6 \text{ m}^3$, odnosno korisni volumen akumulacijskoga jezera Kosinj i Kruščica iznosi $535,5 \times 10^6 \text{ m}^3$. Taj zališni prostor predstavlja oko 62% srednjega godišnjeg volumena dotoka Like, odnosno 38% ukupnoga srednjeg godišnjeg volumena dotoka sustava.

Akumulacijsko jezero Kosinj povećava stupanj iskorištenja voda s prijašnjih 78% na 98%, odnosno preljeveni gubici za razmatrani period iznose oko $26 \times 10^6 \text{ m}^3$ ili samo 1,86% u odnosu na ukupni volumen dotoka sustava ili oko 3% srednjega godišnjeg dotoka Like.

2. Zemljišni i proizvodno-gospodarski uvjeti Lipova Polja

Područje je budućega akumulacijskog jezera Kosinj oko 1.490 hektara. Od 1.878 hektara ukupne površine Lipova polja, za uređenje je i uporabu u poljoprivredi predviđeno 838 hektara oranica, pašnjaka, livada i voćnjaka ili 821 hektar bez ekstenzivnih voćnjaka u okućnicama.

2.1. Hidropedološke i hidrološke značajke

Ukupne su godišnje količine oborina na području Gospića 911-1.769 mm i Gornjeg Kosinja 856-1.630 mm (1961-90). Prirodni nadzemni tok rijeke Like završava u ponorima Lipova polja. Zbog relativno maloga kapaciteta ponora i bujičnog karaktera rijeke, polje je bilo skoro svake godine više puta plavljeno. Izgradnjom akumulacijskoga jezera Kruščica smanjene su poplave, kako po čestoti, tako i po intenzitetu.

Potencijalni gubitak vode iz tla i biljaka - evapotranspiracija u prosjeku je godišnje 702 mm (Penman-Monteith, FAO 1992). Mogući je globalni višak oborinske vode u tlu kod 25%-tne vjerojatnosti pojava i količina:

- za razdoblje travanj-rujan 145-149 mm
- za razdoblje listopad-ožujak 766 mm
- ukupno godišnje 911-915 mm

Mogući je globalni manjak oborinske vode u tlu, kod 70%-tne vjerojatnosti mjesečnih količina oborina u izrazu referentne evapotranspiracije (ET₀) minus aktualna evapotranspiracija (AE) 133-145 mm za razdoblje lipanj-kolovoz (u lipnju 28-32 mm, u srpnju 54-58 mm i u kolovozu 41-43 mm).

2.2. Značajke i pogodnost tla

Pedološki pokrov čine aluvijalna povremeno plavljena tla, a na višim kotama terena smeđa tla na vapnencu - stjenovita i kamenita.

Aluvijalna su tla i podloga do cca 3,5 m dubine heterogene teksturne građe (ilovače do gline), srednje i visoke plastičnosti, hidrauličke vodljivosti 0,7-13,6 m/dan, mogućnosti upijanja - infiltracije vode 0,04-10,4 cm/sat, retencijskog kapaciteta za vodu 399-423 mm/m. Nepokretne vode sadrže 235-254 mm/m, a ukupno fiziološki aktivne vode 154-188 mm/m.

Uvažavajući hidropedološke i hidrološke uvjete prije konačne izgradnje hidroenergetskoga sustava, postojeći je zemljišni fond - tla oranica, livada i pašnjaka uvjetno pogodan za redovitu oraničnu biljnu proizvodnju. Osnovno je ograničenje pogodnosti poplava, a područje izvan poplava - viši kameniti i stjenoviti tereni trajno su nepogodni za oraničnu biljnu proizvodnju, tablica 2.

Tablica 2: Sadašnja pogodnost tla za oranice**Table 2:** *Present suitability for arable land*

Tla	Pogodno ili nepogodno	Glavno ograničenje
Aluvijalna tla (neoglejena, pseudoglejna i epiglejna) cca 821 ha	Uvjetno pogodno	Poplave
Stjenovita i kamenita tla na vapnencu, cca 249 ha	Trajno nepogodno	Stjenovitost

2.3. Melioracijske jedinice i mjere uređenja

Poplavama ugrožene i uvjetno pogodne površine Lipova polja treba hidromeliorizirati i agromeliorirati za potrebe racionalne oranične biljne proizvodnje, tablica 3.

Tablica 3: Melioracijske jedinice i mjere uređenja**Table 3:** *Land Reclamation units and measures*

Tla i način uporabe	Melioracijske jedinice	Mjere uređenja
Aluvijalna neoglejena tla, pretežno oranice i pašnjaci, cca 738 ha	I Prioriteta obrane od poplava i agromelioracije s natapanjem	– osnovna kanalska mreža s objektima – agromelioracije (podrivanje, kalcifikacija, meliorativna gnojidba) – natapanje kišenjem
Aluvijalna pseudoglejna i epiglejna, pretežno livade, cca 83 ha	II Prioritet obrane od poplava, detaljna odvodnja i agromelioracije s natapanjem	– osnovna kanalska mreža s objektima – cijevna drenaža sa šljunkom – agromelioracije kao za jedinicu I – natapanje kišenjem

a. Osnovna odvodnja. Izgradnjom planirana akumulacijskoga jezera Kosinj značajno će se poboljšati obrana Lipova polja od velikih voda Like što će omogućiti intenzivnije korištenje potencijalno plodnoga tla. Poboljšanje stupnja obrane od poplave može se ocijeniti iz odnosa preljevnih količina s akumulacijskog jezera Kosinj i bez njega. Naime, planirano akumulacijsko jezero smanjuje preljevne količine za otprilike 12 puta.

Korito Like u kojemu je izgradnjom brane Selište ostvaren bazen za dnevno izravnane i skretanje voda u tunel Lika-Gacka recipijent je odvodnje vlastitih voda zaobalja. Projektiranim nadvišenjem bazena Selište za 1,00 m (sadašnji je maksimalan radni vodostaj na koti 484 m n.m.) ostvarit će se dnevna oscilacija vodostaja između kota 485 m n.m. i 482.50 m n.m., čime korito Like u dijelu uzvodno od brane Selište gubi funkciju odvodnje vlastitih voda zaobalja. Iz tog je razloga izrađeno idejno rješenje odvodnje Lipova polja s mehaničkim prebacivanjem vlastitih voda dijela područja u bazen Selište, odnosno gravitacijskom odvodnjom u ponorsku zonu nizvodno od bazena.

Kanalnu mrežu čini sedam kanala ukupne dužine 9.031 m i prosječne dubine oko 2,0 metra (1-2 + 0,76 m). Predviđene su dvije crpne stanice i jedan sifon. **Cijena je izgradnje kanala, crpnih stanica i sifona ukupno 12,051.622,00 kn**, a na površini od 821 ha to je **14.679,20 kn/ha**. Sve su cijene iz prosinca 1994. godine.

b. Detaljna odvodnja - cijevna drenaža. Hidropedološkom studijom predviđena je detaljna odvodnja - cijevna drenaža sa šljunkom za aluvijalno pseudoglejna i aluvijalno epiglejna tla, **ukupne površine 83 ha** - pretežno livadnih površina. Razmak je drenaže $L = 26$ m, prosječna dubina 0,9 m, pad 1,2-2,5‰. **Cijena cijevne drenaže sa šljunkom je 7.770,00 kn/ha**, a to je ukupno za 83 ha **644.910,00 kn**.

c. Agromelioracije. Predviđeno je podrivanje za zbijena i slabije vodopropusna tla, kalcifikacija ili dodavanje CaCO_3 za kisela tla ili neutralizacija do $\text{pH} = 7$, te meliorativna gnojidba (organska i/ili mineralna) budućih oraničnih površina. **Podrivanje** do oko 0,6 m dubine i razmaka 0,8 m. **Kalcifikacija** s 3-9 t/ha CaCO_3 uz humizaciju - meliorativnu gnojidbu organskim gnojivima (zreloga stajskog gnoja do 50 t/ha). **Meliorativna gnojidba** višekratno mineralnim gnojivima do opskrbljenosti fiziološki aktivnim hranivima (P_2O_5 i K_2O) preko 10 mg/100 g tla. **Cijena agromelioracija** (podrivanje 1.480,00 kn/ha, kalcifikacija 740,00 kn/ha, meliorativna gnojidba 1.400,00 kn/ha), **ukupno 3.620,00 kn/ha**.

d. Dopunsko natapanje. Utvrđeni globalni manjak oborinske vode kod 70%-tne vjerojatnosti rasporeda i količine mjesečnih oborina, te pretpostavljena intenzivna biljna proizvodnja, uvjetuju dopunsko natapanje rentabilnih kultura i/ili sistema biljne proizvodnje.

Potrebe su vode za natapanje pojedinih kultura (PNk) dobivene primjenom računalnog programa i općega izraza:

$$\text{PNk} = \text{ETk} - \text{Pef} \text{ (mm)}, \text{ gdje su}$$

ETk = evapotranspiracija kultura

Pef = efektivne oborine 70%-tne vjerojatnosti pojava

Potrebe su vode za natapanje pojedinih žita, krmnih i povrtnih kultura 120,2 do 225,9 mm ili 1.202 do 2.259 m^3/ha godišnje, tablica 4.

Tablica 4: Ukupno potrebne (neto) količine vode za natapanje

Table 4: Total net irrigation requirement

Kultura	ETk	Pef	PNk
	mm/dekadi		
Ozima žita	258,2	147,4	120,2
Jara žita	376,8	200,7	201,2
Kukuruz	429,7	252,2	209,2
Krmno bilje	495,3	286,6	225,9
Krumpir	422,1	228,6	205,3
Kupus i kelj	Kale	295,4	150,7

Preporučuje se kišenje samohodnom sektorskom prskalicom - Typhon sustav. Cijena je tog načina i sustava natapanja oko 9.250,00 kn/ha.

2.4. Biljna proizvodnja i stočarstvo

U agroekološkim uvjetima prije konačne izgradnje hidroenergetskoga sustava Kosinj, bez reguliranih vodotoka i zaštite od poplava, bez odgovarajućeg sortimenta, prikladne tehnologije i primjerena ulaganja, prirodi su osnovnih kultura na Lipovu polju niski, nesigurni i ekonomski neatraktivni. Postojeća biljna, a posebno ratarska proizvodnja većim dijelom je u funkciji stočarstva. Po vrijednosti proizvodnje i zastupljenosti stoke na tom području na prvom su mjestu goveda - krave dojilje, zatim ovce, svinje, koze i perad.

U koncipiranju buduće poljoprivredne proizvodnje polazi se od bitnih promjena i poboljšanja proizvodnih uvjeta izvođenjem hidromelioracijskih i agromelioracijskih zahvata. To će, uz promjenu strukture zemljišnih površina i uzgajanih kultura (31,6% žita, 44,6% krmnoga bilja i 23,8% povrća), te povećanje priroda po jedinici površine i po grlu stoke, utjecati na poboljšanje ekonomskih rezultata u poljoprivrednoj proizvodnji. Predviđa se povećanje stočnoga fonda - goveda 692, krava 519, ovaca 2.465, priplodnih ovaca 1.849, svinja 738, peradi 3.158 i konja 54.

3. Ekonomika proizvodnje prije i poslije ulaganja

Ekonomiku proizvodnje prije i poslije ulaganja - izgradnje hidromelioracijskoga sustava Kosinj, analiziramo za Kosinjsko polje i Lipovo polje.

Vrijednost je biljne i stočarske proizvodnje na obama poljima, ukupno uzevši, veća od ukupnih troškova, što znači da te proizvodnje ostvaruju dobit. U Lipovu se polju, u sadašnjim uvjetima, bez ulaganja u melioracije, ostvaruje gubitak u proizvodnji žita, krmnoga bilja i mlijeka. Nakon ulaganja u poboljšanje proizvodnih uvjeta, u svim se proizvodnjama ostvaruje dobitak.

Prije ulaganja ili u sadašnjem stanju biljne proizvodnje za potrebe stočarstva u Lipovu polju, dio se stočne hrane nabavlja izvan tog područja, dok će se nakon ulaganja u samome polju biljnom proizvodnjom osigurati dovoljno stočne hrane za novu uvećanu stočarsku proizvodnju.

U novoj se proizvodnji planirane poljoprivredne kulture kao i stoke ostvaruje dobit u ukupnom iznosu od 4.663.288 kn. U toj dobiti biljna proizvodnja čini oko 59%, u čemu je na prvome mjestu povrćarska proizvodnja. U stočarstvu je to govedarstvo, odnosno proizvodnja mlijeka i mesa, pa zatim ovčarstvo.

Vrijednost ukupnih ulaganja u Lipovo polje bit će 16.436.139 kn. Proizvodnja nakon ulaganja osigurava povrat izgubljene dobiti u proizvodnji Kosinjskog polja.

Nova proizvodnja u Lipovu polju pokriva troškove amortizacije i investicijskoga održavanja preporučenih zahvata za poboljšanje uvjeta proizvodnje, odnosno ulaganja u osnovnu i detaljnu odvodnju, agromelioracije i natapanje.

No, pojedinačno gledajući biljnu proizvodnju, osim proizvodnje kukuruza i povrća, nijedna druga biljna proizvodnja sama ne podmiruje prije navedene troškove. Troškovi se ulaganja podmiruju na razini Lipova polja samo preko stočarstva.

Ostatak dobiti, nakon podmirenja svih troškova (bez troškova kreditiranja), iznosi 1.847.820 kn.

4. Utjecaj hidroenergetskoga sustava Kosinj na poljoprivredu

Utjecaj izgradnje hidroenergetskoga sustava na stanje i promjenu proizvodnih resursa i proizvodnje u poljoprivredi projektnoga područja potrebno je promotriti s dvaju bitnih gledišta. Prvo, sa stajališta gubitka proizvodnoga poljoprivrednoga područja buduće akumulacije u Kosinjskome polju, i drugo, sa stajališta vrednovanja poboljšanja proizvodnih uvjeta i njegova utjecaja na poljoprivredu s privrednoga i društveno-gospodarskoga gledišta. S obzirom na stanje i strukturu biljne i stočarske proizvodnje u Kosinjskome polju ili u budućem hidroenergetskom sustavu Kosinj, za to je područje izračunata dobit u sadašnjoj proizvodnji u iznosu od 679.245 kn. Predviđena poljoprivredna proizvodnja u Lipovu polju, u poboljšanim proizvodnim uvjetima, ostvaruje dobit od 4,663.288 kn. Tu je dobit potrebno umanjiti za izgublenu dobit na području budućega HES-a Kosinj kao i za nadoknadu ulaganja u sustav hidromelioracija i agromelioracija. Ostatak dobiti, kako je prethodno navedeno, iznosi 1,847.820 kn, koju će ostvariti područje Lipova polja, odnosno poljoprivrednici tog područja. Da bi se navedene pretpostavke za rentabilnu poljoprivrednu proizvodnju ostvarile, nužno je da se osiguraju investicijska sredstva za ostvarenje hidromelioracijskoga i agromelioracijskoga sustava i njegovo funkcioniranje. Očito je, s obzirom na akumulacijske i financijske (ne)mogućnosti, da poljoprivrednici tog područja takve investicije ne mogu sami financirati.

U troškove projekta ulazi trošak za amortizaciju i investicijsko održavanje za osnovnu i detaljnu odvodnju, agromelioracije i natapanja, tablica 5.

Tablica 5: Financijski učinci po granama i ukupno u godini pune proizvodnje nakon ulaganja

Table 5: Financial effects for plant and animal production after land reclamation and in the year of full production

	Lipovo polje Dobit	Kosinjsko polje - Izgubljena dobit	Troškovi projekta	Ostatak dobiti
	1	2	3	1 - (2 + 3)
Biljna proizvodnja	2,737.433	514.692	2,136.223	86.518
Stočarska proizvodnja	1,925.855	164.553		1,761.302
Ukupno	4,663.288	679.245	2,136.223	1,847.820

5. Zaključno

Zaključno treba istaknuti da planiranu poljoprivrednu proizvodnju, kao i povoljne ekonomske rezultate planirane proizvodnje, možemo ostvariti uz uvjet da se provedu ulaganja u poboljšanje proizvodnih uvjeta hidromelioracijskim i agromelioracijskim mjerama, te drugim postupcima glede tehnologije, promjene pasminskoga sastava i racionalizacijom troškova. Ta ulaganja poljoprivrednici Lipova polja ne mogu sami platiti, već bi se za to trebala osigurati povoljna investicijska sredstva - manje na regionalnoj, a više na državnoj razini. Nužno je, također, osigurati financijska sredstva iz istih izvora (izvan područja) za troškove ulaganja, amortizacije i investicijskoga i

tekućega održavanja svih objekata za provedbu poboljšice proizvodnih i zemljišnih uvjeta.

Nakon ulaganja, nova će proizvodnja biti rentabilna. To znači da će omogućiti povrat svih troškova u proizvodnju u što je uključen i trošak vode za natapanje.

Ostvarena će dobit biti stimulativna za proizvođače, što bi moglo bitno pridonijeti gospodarskome napretku i zaustavljanju odlaska ljudi, kao i ukupnu društveno-gospodarskomu razvitku tog područja.

Izvori

1. x x x Akumulacijsko jezero Kosinj s hidroelektranom Kosinj i hidroelektrana Otočac, idejni projekt, Knjiga H-1, H-3, H-8, Elektroprojekt, Zagreb, 1989.
2. x x x Akumulacija i HE Kosinj, podloga za investicijski program, Elektroprojekt inženjering d.d. Zagreb, 1994.
3. x x x Mogućnost organiziranja biljne proizvodnje na području općina Gospić i Otočac. Agencija za obnovu, Grupa autora, Zagreb, 1992.
4. Vidaček, Ž., Husnjak, S., Sraka, M. (1994): Hidropedološka studija idejnog projekta odvodnje Lipovog polja, Agronomski fakultet, Zagreb
5. Vidaček, Ž., Žimbrek, T. (1995): Proizvodno-gospodarske značajke poljoprivrede na području HES Kosinj i Lipovo polje, Agronomski fakultet, Zagreb



Stjepan Mišetić, Dagmar Šurmanović,
Milorad Mrakovčić, Natalija Tomašković

R 6-05

Promjene postojećega biološkog stanja rijeke Drave nakon izgradnje hidroenergetskoga sustava HE Dubrava

SAŽETAK: U radu je izloženo naseljavanje biljnih i životinjskih zajednica u novoformirane vodene ekosisteme nastale izgradnjom HE Dubrava na rijeci Dravi 1989. godine. Utvrđeno je da su u prve 4 godine nakon izgradnje hidroelektrane, zbog promijenjenih hidroloških uvjeta, promijenjeni i drugi uvjeti u okolišu, tako da je cjelokupna biološka dinamika drukčija. Jezero su naselili zajednica planktona i zajednice limnofilne faune. Broj vrsta riba i ihtiomas povećani su za oko 2, odnosno 10 puta. Mikrofitobentos i reofilna makrofauna dna intenzivno su razvijeni u ekosistemu drenažnih kanala. Međutim, unatoč obilju riblje hrane, u njih se, zbog nepovoljnih obiotičkih faktora, nisu naselile ribe. U starom koritu vladaju povoljni uvjeti za razvoj mikrofitobentosa i makrofitobentosa, te reofilne, neutrofilne i limnofilne faune. Najslabiji je biološki razvoj na staništima odvodnoga kanala. Sve ekološke niše u novoformiranim vodenim ekosistemima nisu iskorištene ekonomski važnim vrstama riba. Zbog toga, jezero treba poribiti smuđem i šaranom, a staro korito štukom. Mogući je godišnji odlov riba teško ostvariti samo kroz sportski ribolov, pa je osim tog načina iskorištavanja ribljega fonda moguć i privredni ribolov.

KLJUČNE RIJEČI: rijeka Drava, hidroelektrana, biološka dinamika, plankton, bentos, nekton.

Biological Changes in the Drava River Caused by Construction of the Dubrava Hydroelectric Power Plant

ABSTRACT: The paper describes succession of water ecosystems formed by construction of the Dubrava Hydroelectric Power Plant on the Drava river in 1989 by plant and animal communities. It was determined that the environmental conditions changed in the first four years following the plant construction completion due to the changed hydrological conditions. Thus, the complete biological dynamics was changed. The reservoir underwent the succession of community of plankton and communities of limnophilic fauna. The number of sorts of fish and ichtiomass increased for about two, respectively ten times.

Dr. Stjepan Mišetić, dipl. biol., Elektroprojekt inženjering d.d., Zagreb
Mr. Dagmar Šurmanović, dipl. biol. i Natalija Tomašković, dipl. biol., Ribarski centar, Zagreb
Dr. Milorad Mrakovčić, dipl. biol., Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Microphitobenthos and rheophilic macrofauna of the bottom are intensively developed in the drainage canals ecosystem. However, regardless of abundance of fish food there was no fish succession in the canals due to unfavorable abiotic factors. The old riverbed has favorable conditions for development of micro and macro phitobenthos and rheophilic, neutrophilic and limnophilic fauna. The poorest biological growth is in the drainage canal habitats. All ecological feeding points in the newly formed water ecosystems have not been used for economically significant sorts of fish. For that reason, the reservoir should be stocked with perch and carp, and the old bed with pike. The possible annual fishing rate shall not be achieved only through the game fishing, thus the fishery may also be developed.

KEY WORDS: *the Drava River, hydroelectric power plant, biological dynamics, plankton, benthos, nekton*

1. Uvod

Akumulacijska jezera u našoj zemlji najčešće se grade radi proizvodnje električne energije ili za vodoopskrbu pučanstva, dok se mogućnosti koje pružaju ti vodeni ekosistemi za natapanje, opskrbu industrije vodom, ribarstvo, razvoj turizma, športa i rekreacije u dovoljnoj mjeri i na odgovarajući način ne iskorištavaju.

Jedan od osnovnih preduvjeta pravilna višenamjenskoga korištenja akumulacijskih jezera poznavanje je njihovih ekološko-bioloških obilježja. Ali, upravo tom aspektu sve donedavno nije poklanjana osobita pozornost.

Međutim, vrijedno je što se u novije vrijeme stanje bitno promjenilo. Tako su izgradnji hidroenergetskih građevina HE Čakovec i HE Dubrava prethodila opsežna ekološko-biološka istraživanja. Istraživanja su nastavljena i nakon puštanja tih građevina u pogon, 1982. odnosno 1989. godine. Od provedenih će se istraživanja u ovom radu izložiti struktura zajednica planktona, bentosa i nektona u rijeci Dravi prije (Habe-ković et al. 1982.) i tijekom 4 godine nakon izgradnje HE Dubrava (Mišetić et al. 1990., 1991. te Šurmanović et al. 1992. i 1993.). Promjene biološkoga stanja u rijeci Dravi nakon izgradnje HE Čakovec objavili su Mišetić et al. 1986.

Hydroenergetski sustav HE Dubrava dovršen je 1989. godine. Sastoji se od akumulacijskog jezera, drenažnih kanala oko jezera, dovodnoga i odvodnoga kanala hidroelektrane te staroga korita rijeke Drave od brane do restitucije u koji se stalno ispušta određena količina vode označena kao biološki minimum. Svaki od tih novoformiranih vodenih ekosistema prolazi kroz određene faze svojega biološkoga razvoja. Naseljavanje i nestajanje zajednica usko je povezano s fizičko-kemijskim i biološkim svojstvima vode na čiju modifikaciju najveći utjecaj ima brzina izmjene vode.

2. Organizacija istraživanja

Istraživano razdoblje obuhvaća period prije (prva faza) i nakon izgradnje hidroelektrane (druga faza). U prvoj su fazi istraživanja provedene godine 1979. (ljetno, jesen) i 1980. (proljeće). U drugoj fazi istraživanja su započela godine 1989. i traju do danas, a u ovome su radu izneseni rezultati istraživanja 1989., 1990., 1991. (zima, proljeće, ljeto, jesen) i 1992. godine (proljeće, ljeto, jesen).

Tijekom istraživanja razdoblja postaje su komplementarne, a nalaze se na repu akumulacije (postaja 1) i uzvodno od brane (postaja 2), zatim u lijevome i desnomo obodnom kanalu, odvodnom kanalu i starom koritu Drave. Razlika je što su u drugoj fazi istraživanja uzorci planktona u jezeru sabirani i u vertikalnome pravcu. Sabiranje je uzoraka i obrada materijala vršeno u skladu s općeprihvaćenim metodama struke.

3. Promjene u strukturi zajednica

3.1 Promjene u strukturi zajednice planktona

Zajednica planktona u rijeci Dravi prije izgradnje sustava, zbog brzine strujanja vode, nije imala uvjete za razvoj. Predstavnici planktona nađeni na tom dijelu rijeke uglavnom su otplavljeni oblici iz uzvodnih hidroakumulacija i rukavaca s mirnijim tokom vode.

U doba prve faze istraživanja, srednja je vrijednost fitocenotičke komponente planktona $6,4 \times 10^4$ jed/l. Dominantne su Diatomeae koje u ukupnom broju fitoplanktona sudjeluju sa oko 95%. Subdominantna su skupina alge Chlorophyta. Njihov je udio u ukupnom broju zajednice oko 4%. Skupine Cyanophyta i Pyrrophyta slabo su zastupljene, 0,2 i 0,3%. U biocenotičkome sastavu nađeno je 35 vrsta.

Tijekom druge faze istraživanja utvrđene su promjene u kvalitativnom i kvantitativnom sastavu zajednice fitoplanktona. U jezeru je 1989. godine, u biocenotičkoj strukturi fitoplanktona, nađeno 66 vrsta. Prosječna godišnja brojnost je $1,2 \times 10^5$ jed/l što je u odnosu na prvu fazu istraživanja povećanje od oko 20 puta. S izuzetkom zimskoga perioda, kada su u zajednici prevladavali predstavnici Chlorophyta (90%), u ostalim sezonama dominantno mjesto zauzimaju Diatomeae (90%). U starome koritu prosječna je količina fitoplanktona iznosila $3,7 \times 10^3$ jed/l.

Godine 1990. u akumulacijskom jezeru nađeno je ukupno 77 vrsta fitoplanktona. Prosječna je godišnja brojnost $3,5 \times 10^5$ jed/l, što je u odnosu na 1989. godinu povećanje od 2,8 puta. U zajednici dominiraju Chlorophyta, Chrysophyta i Cyanophyta s po 39, 37,7 i 22%.

U starome koritu prosječna je količina fitoplanktona $3,0 \times 10^4$ jed/l. Kasnije, zajednica planktona u tom ekosistemu nije istraživana.

U hidroakumulaciji Dubrava tijekom 1991. godine nađeno je 41 vrsta fitoplanktona. Prosječna je godišnja brojnost $4,5 \times 10^4$ jed/l. Broj je nađenih vrsta i prosječna brojnost zajednice manji nego 1979. godine. Dominiraju skupine Chrysophyta, Chlorophyta i Cyanophyta s 59, 22 i 17%.

Tijekom 1992. godine u akumulacijskom jezeru nađene su 54 vrste planktonskih algi. Prosječna godišnja brojnost je $3,7 \times 10^4$ jed/l i manja je nego 1991. godine. Dominiraju skupine Chlorophyta, Chrysophyta i Cyanophyta s 43, 37 i 15%.

U Dravi su vrijednosti ukupnoga zooplanktona između 72 i 106 jed/10 l. U biocenotičkoj strukturi nađeno je 19 vrsta.

U akumulacijskom jezeru broj je vrsta zooplanktona veći i kreće se između 55 vrsta (1989) i 44 vrste (1992).

U prvoj godini formiranja akumulacije brojnost je ukupnoga zooplanktona između 122 i 968 jed/10 l na postoji 1 i 56 do 1.888 jed/10 l na postoji 2. Godine 1990. te vrijednosti su između 2.480 i 11.183 jed/10 l na postoji 1, te od 5.788 do 15.451 jed/10 l na postoji 2. Godine 1991. vrijednosti ukupnoga zooplanktona manje su i iznose od 107 do 419 jed/10 l na postoji 1 te od 170 do 1.173 jed/10 l na postoji 2. U godini 1992. te su vrijednosti veće i iznose od 77 do 5.820 jed/10 l na postoji 1, te od 109 do 7.280 jed/10 l na postoji 2.

Na lokalitetu su staroga korita vrijednosti ukupnog zooplanktona približne vrijednostima utvrđenim u rijeci Dravi tijekom prve faze istraživanja.

U obodnim kanalima i odvodnom kanalu zajednica planktona zbog brzine vode nema uvjeta za razvoj.

3.2 Promjene u strukturi zajednice bentosa

Viša je vodena vegetacija u hidroakumulaciji slabo razvijena. Na repu jezera razvijeno je nadvodno i podvodno bilje kojega nije bilo u Dravi prije izgradnje sustava, osim u rukavcima. Od ostalih lokaliteta je makrovegetacija razvijena jedino u starom koritu.

Za razliku od makrofita, mikrofitobentos je intenzivnije razvijen. Na lokalitetima obodnih kanala, te na lokalitetu staroga korita, zajednica je bolje razvijena nego u rijeci Dravi. Slabiji razvoj zajednica ima u akumulacijskom jezeru i odvodnom kanalu.

Makrofaunu dna u rijeci Dravi, čine uglavnom predstavnici reofilne faune. Njezine vrijednosti su do 3,96 g/m.

U prvoj je godini nakon formiranja akumulacije makrofauna dna slabo razvijena. Vrijednosti su do 0,166 g/m. Kasnije vrijednosti stalno se povećavaju i iznose do 0,56 g/m 1990., do 0,764 g/m 1991. i do 2,83 g/m 1992. godine.

Na lokalitetu je biološkoga minimuma, makrofauna dna slabije razvijena nego u Dravi. Vrijednosti su 0,37 g/m 1989., 2,20 g/m 1990., 1,76 g/m 1991., i 2,79 g/m 1992. godine.

U obodnim je kanalima makrozoobentos bolje razvijen nego u matičnom vodotoku. Vrijednosti se kreću između 1,52 i 12,6 g/m u lijevome, te između 2,04 i 8,77 g/m u desnome obodnom kanalu.

U odvodnom je kanalu makrofauna dna slabije naseljena nego u rijeci Dravi.

3.3 Promjene u strukturi nektona

Izlomom za studiju postojećeg stanja, prije izgradnje HE Čakovec i HE Dubrava, u Dravi je ulovljeno trinaest vrsta riba. Međutim, zbog nedostatka opreme ulov nije obavljen na staništima uz glavni tok rijeke na kojima prema procjenama živi oko dvadeset pet vrsta riba. (Mrakovčić 1992.).

Nakon izgradnje HE Dubrava utvrđeno je golemo povećanje vrsta riba. Do godine 1993. ulovljeno je trideset osam vrsta riba, dvadeset šest u jezeru, dvadeset sedam u starom koritu, dok je dvadeset jedna vrsta ulovljena u odvodnome kanalu. Obodni kanali nisu naseljeni ribama. Iznimka je desni obodni kanal u kojem je na mjestu njegova spajanja sa starim rukavcem Drave ulovljeno 7 vrsta riba.

Drugi, ali ne manje važan parametar je ihtiomas, koja je prije izgradnje brane procijenjena na vrijednost između 20 i 40 kg/ha.

Nakon stabilizacije sustava procijenjena se ihtiomas kreće od 240 do 300 kg/ha u akumulacijskome jezeru, između 20 i 35 kg/ha u biološkome minimumu te od 15 do 30 kg/ha u odvodnome kanalu. Izuzetak je prostor uz branu i strojarnicu gdje se zbog efekta tih građevina skuplja velika masa uglavnom migratornih vrsta riba.

4. Zaključno razmatranje

Naseljavanje biljnih i životinjskih vrsta u novostvorene vodene ekosisteme, nastale izgradnjom HE Dubrava, te nastale promjene u odnosu na matični vodotok, sustavno se prate od njezina puštanja u pogon 1989. godine.

Nakon izgradnje hidroelektrane, zbog promijenjenih hidroloških uvjeta, promijenjeni su i drugi uvjeti okoliša, tako da je cjelokupna biološka dinamika drugačija.

Postupan razvoj životnih zajednica vezan je uz fizičko-kemijsko svojstvo vode, a glavni činitelj promjena prema toku rijeke jest brzina strujanja vode.

Zbog usporavanja toka vode u akumulaciji stvoreni su uvjeti za razvoj zajednice planktona, tako da su utvrđene jasne razlike između rezultata dobivenih u Dravi i rezultata u akumulacijskom jezeru.

Za zajednicu je planktona bitno da su u njezinoj biljnoj komponenti, fitoplanktonu, posebice u prvim godinama nakon zatvaranja jezera, utvrđene vrste algi koje su indikatori većega stupnja trofije. Međutim, gustoća njihovih populacija nije velika i mijenja se iz godine u godinu.

U zajednici zooplanktona dominiraju euritopne vrste. Subdominantne su vrste indikatori eutrofnoga stupnja, a najmanju obundanciju imaju indikatori mezotrofnoga stupnja. Tijekom istraživanoga razdoblja glavno obilježje zajednici daje skupina *Rotatoria*. Slab razvoj planktonskih račića tumači se čestim izmjenama vode u jezeru.

Na smanjenje gustoće populacije fitoplanktona, zbog uklanjanja biogenih elemenata, određen utjecaj ima i razvoj višega vodenog bilja na repu akumulacijskoga jezera.

Povoljni uvjeti za razvoj mikrofitobentosa vladaju na lokalitetima obodnih kanala i u starom koritu. Zbog velikih oscilacija i promjenljive brzine vode zajednica je slabo razvijena u odvodnome kanalu.

Razlike su u strukturi zajednice zoobentosa prije i nakon izgradnje hidroelektrane velike.

Reofilna fauna makrozoobentosa nije se održala u jezeru. Međutim, naseljavanje se limnofilnih oblika može povezati s procesom stvaranja muljevite naslage na dnu jezera.

Na lokalitetu biološkoga minimuma, zajednicu makrozoobentosa čine predstavnici reofilne, limnofilne i neutrofilne faune.

Na staništima obodnih kanala u zajednici makrozoobentosa dominiraju predstavnici reofilne faune.

U odvodnome kanalu, zbog šljunkovite podloge, slaba razvoja mikrofitobentosa i velikih oscilacija vodostaja makrofauna je dno slabije razvijena nego u matičnome vodotoku.

Važno je istaknuti postupno naseljavanje školjkaša *Dreissena polymorpha* u ekosisteme HE Dubrava. Naime, ovaj mikrofitoplanktonofog zbog svojih filtracijskih karakteristika doprinosi poboljšanju kakvoće vode.

Promjene u zajednici riba uočene tijekom istraživanja razdoblja pokazuju da u prvoj godini nakon zatvaranja akumulacije dominira bodorka. U drugoj se godini povećavaju populacije percida i populacija deverike. Populacija deverike stalno raste tako da ova limnofilna vrsta postaje dominantna vrsta u jezeru. Neke ključne vrste zajednice riba rijeke (mrena, podust, štika) progresivno nestaju ili se svode na zajednice vezane uz mikroklimatske niše na ulasku i izlasku iz akumulacijskoga jezera, osobito duž staroga korita.

Na staništima staroga korita i odvodnog kanala uz klenu sve je više manjića, vrste čije se populacije smanjuju u nekim državama Europe.

Naseljavanje je ihtiocenoza usko povezano s abiotičkim faktorima koji vladaju u novoformiranim vodenim ekosistemima. Tako, unatoč obilju riblje hrane, riba nema u drenažnim kanalima. Razlog su niska temperatura vode za ciprinidne vrste riba i niska koncentracija otopljenoga kisika za salmonidne vrste riba.

Unatoč bogatstvu ihtiopopulacija, sve ekološke niše u novoformiranim ekosistemima nisu iskorištene ekonomski važnim vrstama riba. Zbog toga, u jezero valja nasaditi

smuda kao kvalitetnog ihtiotoga i šarana kao konkurenta deverici, vrsti koja je u ekspanziji.

U staništa biološkoga minimuma Drave treba nasaditi štuku kao zanimljivu vrstu za sportski ribolov.

Poribljavanje bi popravilo gospodarstvenu vrijednost ihtipopulacija, što bi doprinijelo boljem ribarskom iskorištavanju tih novonastalih vodenih ekosistema. Međutim, godišnji prirast riba koji se može odloviti bez poremećaja ihtipopulacija teško je ostvariti samo kroz sportski ribolov. Zbog toga je osim športskoga načina iskorištavanja ribljeg fonda mogući i privredni ribolov.

Literatura

1. Habeković, D., Mišetić, S., et al.: Postojeće fizičko-kemijsko i biološko stanje rijeke Drave od Ormoža do D.Dubrave te pritoka Plitvice i Bednje. Studija IRC-a za ribarstvo, Zagreb, 1982. Arhiva, 108 str.
2. Mišetić, S., Habeković, D., et al.: Promjene postojećeg biološkog stanja dijela rijeke Drave nakon izgradnje sustava HE Čakovec. Saopćenje XIII Kongresa JDVB. Knjiga 1, Mostar, 1986. str. 235-238
3. Mišetić, S., Mrakovčić, M., Šurmanović, D., et al. Fizičko-kemijske, biološke i ihtiološke značajke nadzemnih voda hidroenergetskog sustava HE Dubrava u godini 1989. Studija, OOUR IRC za ribarstvo, Zagreb, 1990., Arhiva, 70 str.
4. Mišetić, S., Mrakovčić, M., Šurmanović, D., et al.: Fizičko-kemijske, biološke i ihtiološke značajke nadzemnih voda hidroenergetskog sustava HE Dubrava u godini 1990. Studija, OOUR IRC za ribarstvo, Zagreb, 1991., Arhiva, 75 str.
5. Mrakovčić, M.: Sukcesija ihtiofaune u hidroakumulaciji Varaždin, Disertacija, PMF Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1992. 168 str.
6. Šurmanović, D., Mišetić, S., Tomašković, N., et al.: Fizičko-kemijske, biološke i ihtiološke značajke nadzemnih voda hidroenergetskog sustava HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava u godini 1991. Studija, Ribarski centar, Zagreb, 1992., Arhiva, 96 str.
7. Šurmanović, D., Mišetić, S., Tomašković, N.: Fizičko-kemijske, biološke i ihtiološke značajke nadzemnih voda hidroenergetskog sustava HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava u godini 1992. Studija, Ribarski centar, Zagreb, Arhiva, 1993. 94 str.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Andrej Guštin

R 6-06

Male hidroelektrane u višenamjenskom korištenju voda

SAŽETAK: *U radu se opisuje uloga i doprinos malih hidroelektrana u gospodarskom značaju višenamjenskoga uređenja i korištenja voda.*

U sklopu aktivnosti na razvoju malih hidroelektrana u Republici Hrvatskoj, posebnu pozornost treba obratiti višenamjenskom korištenju, koje međutim treba planirati, jer se najracionalnija rješenja postižu ako se male hidroelektrane grade u sklopu vodoprivrednog uređenja sliva, umjesto da se naknadno dodaju već izgrađenim objektima. Ukratko se opisuje tehničke mogućnosti za uklapanje malih hidroelektrana u višenamjensko korištenje voda, te njihov značaj u gospodarskom smislu. Ukazuje se na potrebu za prikupljanjem potrebnih podloga i podataka o izgrađenim i planiranim vodoprivrednim i ostalim objektima, koji predstavljaju koncentraciju pada povoljnu za dodavanje male hidroelektrane u sustav.

KLJUČNE RIJEČI: *hidroelektrane, male hidroelektrane, višenamjensko korištenje voda*

Small Hydroelectric Power Plants in Multipurpose Use of Waters

ABSTRACT: *The paper describes the role and contribution of the small hydroelectric power plants to the economic significance of the multipurpose water resources control and utilization.*

Within the framework of the activities related to the development of the small hydroelectric power plants in the Republic of Croatia special attention should be paid to the multipurpose utilization which requests timely planning. The most economic solutions are achieved if the small hydroelectric power plants are built within the multipurpose river basin development scheme instead of being subsequently added to the already completed structures.

A brief description is given of technical possibilities of including the small hydro into multipurpose water utilization scheme, and of their significance from the economic aspect.

The need is underscored for acquisition of required information and data on built and planned water resources management and other projects with concentration of head sufficient for addition of the small hydro to the system.

KEY WORDS: *hydroelectric power plants, small hydro, multipurpose water resources utilization*

1. Uvod

Kad govorimo o energetici kao jednoj od gospodarskih grana koje sudjeluju u višenamjenskom uređenju i korištenju voda, mislimo na klasične, velike hidroelektrane koje, kao ravnopravni partneri, sudjeluju u raspodjeli koristi i troškova s ostalim korisnicima vodnog blaga.

Međutim, u ovom izlaganju neće biti govora o velikim, nego o malim hidroelektranama i o tome što one znače u sustavima korištenja voda za druge namjene.

Izrada studijske dokumentacije za razvoj malih hidroelektrana u republici Hrvatskoj u tijeku je od 1982. godine (lit. 1, 2, 3, 4). Ovim velikim poslom obuhvaćena su 134 vodotoka. Međutim, male hidroelektrane promatrane su kao samostalna hidroenergetska postrojenja na malim vodotocima, jer se nije raspolagalo s potrebnim podlogama i podacima o koncentracijama pada, izgrađenim i planiranim za druge namjene.

Zadaća je ovoga rada ukazati na potrebu da se male hidroelektrane dodaju koncentracijama pada izgrađenim za druge namjene, posebno kad je riječ o vodoprivrednim objektima, a kod projektiranja novih objekata da se pravodobno planiraju kao dio sustava. U tom smislu trebalo bi prikupiti potrebne podloge i podatke o izvedenim i planiranim objektima, te izraditi odgovarajuću dokumentaciju, kao dopunu lit. 3 i 4. Naime, kao što je kod malih hidroelektrana utemeljena posebna metodologija (lit. 1) koja se razlikuje od metodologije pristupa projektiranju i građenju velikih hidroelektrana, tako treba male hidroelektrane u sklopu višenamjenskoga uređenja i korištenja voda također promatrati pod posebnim kutom.

2. Male hidroelektrane, dodatak drugim namjenama korištenja voda

2.1. Općenito

Pojam male hidroelektrane različito tretira se u raznim zemljama, zavisno od raspoloživoga hidroenergetskoga potencijala i stupnja tehnološke razvijenosti. Kod nas su male hidroelektrane postrojenja ispod 5.000 kW instalirane snage. Međutim, imajući u vidu poseban metodološki pristup projektiranju i izgradnji koji predviđa određena pojednostavljena prigodom istraživanja, izrade projektne dokumentacije i građenja, uz tipizaciju građevinskih objekata, te elektrostrojarske i hidromehaničke opreme, moguća je, unutar ovog raspona instalirane snage, podjela u nekoliko kategorija.

Opis ove »Metodologije« (lit. 1) koja je detaljno razrađena za male hidroelektrane u Republici Hrvatskoj nije predmet ovoga izlaganja, a ovdje se spominje samo da bi se naglasila potreba za posebnim tretmanom u odnosu na projektiranje i izgradnju velikih hidroelektrana. Naime, generalno uzevši, cijena jednog kWh iz hidroelektrana raste s opadanjem instalirane snage, pa su tako male hidroelektrane, pogotovo one najmanje, postrojenja često na granici rentabilnosti. Međutim, ne mora biti uvijek tako. Ispravnom primjenom zacrtane »Metodologije« tijekom projektiranja, građenja i eksploatacije mogu se mnoge male hidroelektrane učiniti rentabilnima.

U pogledu isplativosti ulaganja, osim podjele po instaliranoj snazi, male hidroelektrane možemo podijeliti u dvije osnovne kategorije, a to su:

- postojenja izgrađena na prirodnim vodotocima, i
- postrojenja dodana izgrađenim koncentracijama pada.

Te dvije kategorije se, u pogledu isplativosti, mogu za iste instalirane snage znatno razlikovati. Naime, dok je kod malih hidroelektrana, izgrađenih na prirodnim vodotocima potrebno izgraditi sve građevinske objekte (brana, ulazni uređaj, dovodni kanal, tlačni cjevovod, strojarnica s odvodnim kanalom), kod postrojenja dodanih izgrađenim koncentracijama pada često neke vrlo skupe objekte nije potrebno izgraditi (npr. brana, dovodni kanal), a to ih znatno uzdiže na ljestvici rentabilnosti.

Postoje široke mogućnosti dodavanja malih hidroelektrana izgrađenim koncentracijama pada. Zadaća je ovoga izlaganja prikazati te mogućnosti s tehničkoga stajališta, te ukazati na njihov značaj u gospodarskom smislu, posebno onda kad se male hidroelektrane grade u sklopu vodoprivrednih objekata, umjesto da se naknadno dodaju već izgrađenim objektima. Zato takvo višenamjensko korištenje vodnoga blaga treba pravodobno planirati, jer je naknadno dodavanje postojećem objektu uglavnom skuplje nego kad se mala hidroelektrana gradi zajedno s vodoprivrednim objektom.

2.2 Tehničke mogućnosti

Energetski potencijal hidroelektrane proporcionalan je umnošku instaliranoga protoka i pada. Kad se hidroelektrana gradi na vodotoku u njegovu prirodnome stanju, tada treba, kako je već rečeno, izgraditi sve objekte potrebne da se zahvati predviđeni instalirani protok i stvori pad potreban za pogon turbina.

Međutim, kod objekata na vodotoku čija namjena nije korištenje energetskog potencijala, objekti za zahvaćanje i dovod vode, te stvaranje pada, već su uglavnom predviđeni u sklopu osnovne namjene pa je uklapanje male hidroelektrane u takav sustav često vrlo jednostavno i rentabilno.

Ovdje ćemo spomenuti sljedeće objekte:

- ispusti za biološki minimum kod velikih hidroelektrana,
- mlinice,
- pregrade za regulaciju korita i zadržavanje nanosa,
- retencije za obranu od velikih voda,
- akumulacije za navodnjavanje, opskrbu vodom, ribničarstvo, turizam i rekreaciju,
- sustavi za navodnjavanje i opskrbu vodom.

Kod derivacijskih hidroelektrana, u pravilu u dijelu vodotoka treba od brane do ušća odvodnoga kanala zadržati određeni protok, potreban za održanje života u rijeci, tzv. biološki minimum.

Biološki se minimum kod velikih hidroelektrana ispušta kroz branu. To je često značajna količina vode koja s padom stvorenim branom tvori potencijal koji se racionalno može iskoristiti dodavanjem male hidroelektrane. Primjer su hidroelektrane na Dravi, HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava, kojima su u upornjaku brane ugrađene male hidroelektrane na biološki minimum.

Mlinice koriste vodni potencijal izravno pretvarajući okretanje vodnoga kola u mehanički rad, mljevenje žita. Dispozicija tehničkoga rješenja mlinice u načelu se ne razlikuje od male hidroelektrane; brana, zahvat vode, dovodni kanal i pogonska zgrada.

U Republici Hrvatskoj postoji velik broj mlinica na velikim i malim vodotocima, međutim mnoge su od njih zapuštene, porušene i izvan pogona. Ipak, brane, pretežito građene od kamena ili masivnoga betona, često su u dosta dobru stanju i kao takve su koncentracija pada koju je moguće iskoristiti dodavanjem male hidroelektrane. Brane, građene za potrebe mlinica u nas obično nemaju veliku visinu, najčešće 2 do 5 m

pa se uglavnom ne radi o većemu pojedinačnom potencijalu (rijetko je moguće ostvariti više od 100 kW instalirane snage). Međutim, vrlo velik broj ovakvih mlinica u našoj republici daje naslutiti da se ukupni potencijal ne smije zanemariti, no nažalost o tome ne postoje sređeni podaci.

Pregrade za regulaciju korita i zadržavanje nanosa vodoprivredne su građevine, masivne pregrade građene okomito na smjer toka vode u svrhu smanjenja uzdužnoga pada, odnosno kinetičke energije vodotoka. Također se grade za zadaćom sprečavanja pronošenja nanosa u nizvodnu akumulaciju na vodotoku. I ove pregrade su u najčešće male visine, rijetko preko 5 m, no njihov velik broj ukazuje na potencijal koji bi valjalo istražiti.

Ovakva je pregrada koncentracija pada koju se može relativno jednostavno i racionalno iskoristiti dodavanjem male hidroelektrane.

Retencije za obranu od velikih voda grade se u brdskome dijelu vodotoka sa zadaćom reguliranja otjecanja u nizvodnome dijelu.

Izgradnjom brane određene visine dobije se retencijski prostor potreban za prihvaćanje vodnoga vala određenog reda pojave. Retencijski prostor predviđa se iznad prostora za nanos i taj prostor treba biti, u pravilu, prazan za slučaj nagloga nailaska vodnoga vala. Ako se takvoj retenciji dodaje mala hidroelektrana predviđena za protočni rad, u pravilu se ne računa s prostorom za prihvaćanje vodnoga vala, pa je u takvu slučaju bruto pad koji se može energetski koristiti razlika između gornje kote prostora predviđenog za nanos i vodne razine nizvodno od brane.

Međutim, ako se branom za formiranje retencijskoga prostora želi osigurati i akumulacijski prostor za vršni rad male hidroelektrane, tada brana mora imati veću visinu kako bi se akumulacijski prostor predvidio iznad prostora za nanos, a povrh njega retencijski prostor. U oba slučaja, ako je retencija već izgrađena, dovod za malu hidroelektranu uglavnom je moguć kroz temneljni isпуст.

Akumulacije za navodnjavanje, opskrbu vodom, ribničarstvo, turizam i rekreaciju formiraju se također izgradnjom brane određene visine potrebne da se, u tako dibi-veni prostor, akumulira voda potrebna za zadovoljenje jedne ili više spomenutih namjena. Ako se želi takvoj akumulaciji dodati mala hidroelektrana s protočnim radom, to se često može učiniti i bez povećanja predviđene zapremine akumulacije, ali tada će rad hidroelektrane najčešće biti podređen potrebama ostalih korisnika (navodnjavanje, vodoopskrba, ribničarstvo). Međutim, ako se predviđa mala hidroelektrana s izravnanim dotokom tada će trebati odgovarajuće dimenzionirati povećanje akumulacije, također imajući u vidu potrebe ostalih korisnika, koji će često imati prvenstvo.

Kod sustava za navodnjavanje i opskrbu vodom često se voda do mjesta potrošnje dovodi s većih visina otvorenim kanalima ili cjevovodima pod tlakom. Na takvim dovodima uobičajeno je graditi objekte za uništenje kinetičke energije vode. Međutim se sve više pravodobnim planiranjem, prilikom građenja takvih sustava, umjesto tzv. prekidnih komora, ugrađuju male hidroelektrane. Način rada takvih malih hidroelektrana uglavnom treba biti podređen radu osnovne namjene, tj. sustava za navodnjavanje, odnosno sustava za opskrbu vodom.

Autor ovoga rada posjetio je tri male hidroelektrane u Češkoj ugrađene na vodovodnom sustavu koje proizvode električnu energiju koja bi inače bila izgubljena.

Jedna je mHE Horka, koja na maksimalnom padu od 35 m, s prosječnom instaliranom snagom od oko 40 kW, druga je mHE Jozefo na padu od 50 do 60 m, s prosječnom instaliranom snagom od 40 kW, a treća je ugrađena u vodovodnom postrojenju u

Rimovu 1985. godine. Na padu od 40 m ugrađene su dvije turbine od po 500 kW instalirane snage, a povrat investicije ostvaren je za dvije godine.

U nas nema, zasad, izgrađenih malih hidroelektrana na takvim sustavima, međutim planira se na rijeci Orljavi uz akumulaciju Kamenska, koja je kod mjesta Kamenske planirana za opskrbu vodom područja slavonsko-posavske regije, na dovodima ugrađiti male hidroelektrane: Kamenska-1 na padu od 18 m, instalirane snage 154 kW i Kamenska-2 na padu 38 m, instalirane snage 520 kW.

U sljedećoj točki osvrnut ćemo se na gospodarski značaj malih hidroelektrana u sklopu nekih drugih namjena korištenja voda.

2.3 Gospodarski značaj

Graditi malu hidroelektranu na nekom vodotoku, isključivo za proizvodnju električne energije, bez razmatranja drugih korisnih učinaka, posebice vodoprivrednih, nije ono što želimo postići.

U sklopu sustavnoga planiranja uređenja i korištenja voda nekog sliva trebalo bi svakako uključiti i male hidroelektrane kao postrojenja koja, uz već izgrađene koncentracije pada za neke druge namjene najednom postaju vrlo isplative, a da su korisne u to nitko i ne sumnja, jer ne troše i ne zagađuju vodu i okoliš, dakle proizvode »čistu« energiju.

U točki 2.2 prikazane su tehničke mogućnosti građenja malih hidroelektrana u sklopu drugih namjena korištenja voda. Sada ćemo redom pokušati, opisno, prikazati njihov gospodarski značaj.

Male hidroelektrane na biološki minimum, građene uz velike brane, izvanredno su isplative, posebice ako se projektiraju i izvode usporedno s branom. Koncentrirani pad s relativno značajnim i ustaljenim protokom daje jeftinu energiju, jer su investicije za građevinske radove minimalne, a proizvodnja električne energije relativno visoka.

Kod mlinica, kako je već spomenuto, osnovna dispozicija ne razlikuje se od male hidroelektrane. Međutim, zgrade u kojima su smješteni vodenički uređaji često su u lošem i ruševnom stanju.

Mlinice su također često koristile samo mali dio raspoloživoga protoka jer im više nije trebalo. U pogledu iskorištenja mlinice načelno postoje dvije osnovne mogućnosti:

- prenamjena mlinice u malu hidroelektranu, uz zamjenu vodeničkog kola turbinom, te ugrađivanje ostale elektrostrojarske opreme i
- obnova mlinice, te dodavanje male hidroelektrane.

Prvi slučaj dolazi u obzir kad mlinica nije zaštićeni kulturno-povijesni objekt. U tom slučaju često će trebati obnoviti postojeći zahvat ili izgraditi novi za veću količinu vode, očistiti eventualno proširiti protjecajni presjek dovodnog kanala, obnoviti zgradu i hidromehaničku opremu (rešetka i zapornice). Iskustvo s pregledanih postojećih objekata pokazalo je da je brana, ako je građena od nabijenog betona ili kamena, često u dobrom stanju te se, uz eventualno manje popravke, može zadržati.

Isplativost ulaganja ovisit će prvenstveno o građevinskim radovima potrebnim za obnovu ili rekonstrukciju postojećih objekata što dosta varira od slučaja do slučaja.

Drugi se slučaj pojavljuje kad je mlinica zaštićeni kulturno-povijesni objekt, pa se predviđa obnova u autohtonu izdanju. Međutim, često su i takve mlinice u vrlo lošem i ruševnome stanju. Sredstva za obnovu takvih mlinica teško je naći jer ih treba bespovratno izdvojiti. Budući da se često radi o mlinicama na vodotocima s vrlo velikim protokom (mlinica koristi samo mali dio raspoloživog protoka), moguće je uz obnovljenu mlinicu dodati i malu hidroelektranu, prikladno oblikovanu koja bi mo-

gla, ako ne potpuno, a ono barem djelomično vratiti sredstva uložena u mlinicu. Posebno su karakterističan primjer mlinice na izvorima Gacke u Lici.

Pregrade za regulaciju korita i zadržavanje nanosa vodoprivredni su objekti koji stvaraju koncentraciju pada često povoljnu za energetske korištenje dodavanjem male hidroelektrane. Uglavnom se grade u brdskom dijelu sliva pa se, osim pribranskoga rješenja, često može isplatiti i derivacijsko, ovisno o morfološkim i topografskim uvjetima. Brana dakle postoji i ne opterećuje ulaganja u malu hidroelektranu, te će za pribransko rješenje trebati izgraditi zahvat i zgradu strojarne s odvodnim kanalom, a za derivacijsko još dovodni kanal s preljevnom komorom i tlačni cjevovod. Takve male hidroelektrane mogu se ostvariti na većim padovima, što uglavnom daje i povoljniju investiciju. Rad postrojenja je protočni, jer je prostor uzvodno od brane uglavnom zapunjen nanosom.

Retencije za obranu od velikih voda također su vodoprivredni objekti, pa i ovdje investicija za branu ne opterećuje malu hidroelektranu. Međutim, ukupna visina brane ovdje ne pridonosi padu male hidroelektrane, jer je brana dimenzionirana na prihvat velikoga vodnoga vala, no ipak dio brane do izlaza temeljnoga ispusta predstavlja koncentraciju pada koja se može energetske iskoristiti za slučaj protočnoga rada male hidroelektrane. Budući da se ove retencije uglavnom grade u brdskim područjima sliva i ovdje je moguće osim pribranskog rješenja i derivacijsko, gdje se pad ovisno o topografskim mogućnostima, isplati povećati izgradnjom dovodnoga kanala po obronku brda, kao i u prethodnom slučaju.

Izgradnja male hidroelektrane u sklopu retencije moguća je i naknadno, kad je brana već izgrađena, međutim tada su potrebni određeni radovi, a time i troškovi koji bi se izbjegli ako se mala hidroelektrana gradi istodobno s branom. Zato treba svakako voditi računa o tome da se prigodom izrade projektne dokumentacije pravodobno uključi u razmatranje dodatna namjena, energetske korištenje.

Akumulacije za navodnjavanje, opskrbu vodom, ribničarstvo, turizam i rekreaciju, svrstane su u istu kategoriju sa stanovišta uključenja male hidroelektrane u sustav jer imaju, u tom pogledu, isti tretman. Naime, spomenute namjene, u pravilu, imaju prednost pred energetske korištenjem u maloj hidroelektrani koja se ovdje promatra samo kao dodatna namjena i koristi vodu koja drugim namjenama nije potrebna. Smještaj i rad male hidroelektrane u takvom slučaju načelno nikome ne smeta jer se mora prilagoditi ostalim korisnicima; voda prolazi kroz postrojenje i dolazi do korisnika nepromijenjenih fizičkih i kemijskih svojstava.

Premda je i ovdje izgradnja male hidroelektrane moguća kada je akumulacija već u funkciji, kod planiranja novih objekata treba svakako pravodobno uključiti malu hidroelektranu iz istoga razloga kao i kod retencija.

Kod sustava za navodnjavanje i opskrbu vodom male se hidroelektrane ugrađuju na dovodima vode do korisnika. Prolaskom kroz malu hidroelektranu voda ne mijenja svoja fizička i kemijska svojstva. Rad male hidroelektrane podređen je u radu sustava za navodnjavanje, odnosno radu sustava za opskrbu vodom. Ovakav rad male hidroelektrane najčešće nije u skladu s potrebama korisnika električne energije, međutim to su ipak uglavnom vrlo isplativa postrojenja. Naime, ovdje otpada izgradnja brane, zahvatna građevina, dovodni kanal, tlačni cjevovod i sl. Umjesto objekata za uništavanje kinetičke energije koji su se inače na ovakvim dovodima gradili, ubace se male hidroelektrane koje tu energiju pretvaraju u električnu i time doprinose gospodarskom značaju čitavoga sustava. Kako se ovdje uglavnom radi o relativno malim protocima na velikim padovima, dimenzije opreme su relativno male što je još jedna povoljna okolnost koja govori u prilog racionalne ugradnje male hidroelektrane u sustav.

3. Zaključci

Kod građenja malih hidroelektrana treba težiti da se one, tamo gdje je moguće, uklope u sustave korištenja voda za druge namjene, posebno vodoprivredne.

Tehničke mogućnosti za takve zahvate vrlo su široke:

- ispusti za biološki minimum kod velikih derivacijskih hidroelektrana,
- mlinice,
- pregrade za regulaciju korita i zadržavanje nanosa,
- retencije za obranu od velikih voda,
- akumulacije za navodnjavanje, opskrbu vodom, ribničarstvo, turizam i rekreaciju,
- sustavi za navodnjavanje i opskrbu vodom.

Isplativost malih hidroelektrana znatno se povećava u odnosu na one koje se grade isključivo za proizvodnju električne energije ako ih priključimo izgrađenim koncentracijama pada za neke druge namjene. Pri tome je najpovoljnije kad se one unaprijed planiraju u sklopu sustavnog uređenja i korištenja voda nekog sliva.

Male hidroelektrane, građene u okviru sustava korištenja voda za neke druge namjene, tretiraju se kao dodatna postrojenja koja korištenje vode i način rada, uglavnom trebaju podrediti potrebama osnovnih korisnika. Unatoč tome to su često vrlo isplativa postrojenja, jer nisu opterećena troškovima gradnje nekih, relativno skupih, građevinskih objekata. U razdoblju od 1982. godine do danas izrađena je opsežna studijska dokumentacija za razvoj malih hidroelektrana na 134 vodotoka u republici Hrvatskoj. Male hidroelektrane promatrane su kao samostalna hidroenergetska postrojenja na malim vodotocima jer se nije raspolagalo s potrebnim podlogama i podacima o koncentracijama pada izgrađenim i planiranim za druge namjene.

Predlaže se prikupiti potrebne podloge i podake o izvedenim i planiranim objektima za druge namjene, te izraditi odgovarajuću dokumentaciju, kao dopunu lit. 4.

4. Literatura

1. Elektroprojekt inženjering d.d., »Metodologija i smjernice za projektiranje i građenje malih hidroelektrana u Hrvatskoj«, Zagreb, 1982.
2. Elektroprojekt inženjering d.d., »Katastar malih vodnih snaga u Hrvatskoj«, Zagreb, 1985.
3. Elektroprojekt inženjering d.d., »Katastar malih hidroelektrana u Hrvatskoj-I faza« Zagreb, 1989.
4. Elektroprojekt inženjering d.d., »Katastar malih hidroelektrana u Hrvatskoj-IA faza« Zagreb, 1993.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Dobrića Habeković

R 6-07

Ribarstvene mogućnosti hidroakumulacije Peruća

SAŽETAK: *Mnoge poduzimane ribarstvene mjere na hidroakumulaciji Peruća dale su pozitivne rezultate. Stoga Peruća može biti dobrim primjerom načina i mogućnosti ribarstvenog iskorištavanja hladnovodnih i oligotrofnih hidroakumulacija njezina tipa. Osnovna je mjera bila promjena kakvoće postojećih ihtiopopulacija, pa su provedena poribljavanja autohtonim i alohtonim vrstama riba (1975 - 1979). Nasađeno je 161 kom/ha mlađa, te veoma malo ribe do 1+ jezerske zlatovčice (44%), potočne pastrve (41%) i kalifornijske pastrve (15%). Ribe su preživjele, dobro rastu i kao vrsta su atraktivne za športski ribolov. Za iskorištavanje planktona u pelagijalu uvezene su nove vrste, i to ozimice *Coregonus peled* i *Coregonus l. maraena*. Introdicirane su u jezero ličinke i mlađ (645 kom/ha, 86% ličinke). Ribe su se adaptirale, aklimatizirale i osnova su privrednoga ribolova.*

Kavezni uzgoj kalifornijske pastrve, postavljen i proveden prvi put u bivšoj Jugoslaviji u Perući, ukazao je na velike mogućnosti privrednoga iskorištavanja jezera putem intenzivnih ribogojstvenih metoda.

KLJUČNE RIJEČI: *hidroakumulacija, poribljavanje, salmonidi, koregonidi, kavezni uzgoj*

Fishery Possibilities of the Peruća Reservoir

ABSTRACT: *Numerous fishery-related measures undertaken in the Peruća Reservoir have given positive results. Thus, Peruća may be taken as a good example of methods and possibilities for exploitation of cold water and oligotrophic reservoirs of this type in fishery. The basic measure was to change the quality of ichtio population, so the stocking with autochthonous and allochthonous species of fish were conducted (1975-1979). 161 pcs/ha of fry was stocked, and quite small amount of fish aged 1+: lake trout (44%), brook trout (41%), and rainbow trout (15%). The fish survived, the growth is satisfactory and their species is attractive for game fishing. In order to use the plankton in pelagial, the new species were introduced, namely whitefish *Coregonus peled* and *Coregonus l. maraena*. The larvae and fry were introduced into the lake (645 pcs/ha, 86% larvae). The fish adapted, acclimatized and become the basis for fishery.*

The cage breeding of rainbow trout, initiated and conducted for the first time in the former Yugoslavia at the Peruća Reservoir, confirmed exceptional possibilities of the reservoir in intensive fish-farming methods.

KEY WORDS: *reservoir, fish-stocking, salmonidae, coregonidae, cage breeding*

Uvod

Kako su riba i voda neraskidivo povezani, tako su izgradnjom niza akumulacijskih jezera stvorene mogućnosti za njihovo ribarstveno iskorištavanje. Prema tome ribarstvo valja svakako uključiti u višenamjensku funkciju hidroakumulacija. Intenzitet korištenja prvenstveno ovisi o tipu akumulacijskih jezera, o poduzimanju gospodarskih mjera, te ostalim bitnim činiocima. Glede klimatskih, topografskih, morfoloških, hidroloških, bioproduktivnih i drugih uvjeta sredine, akumulacijskih se jezera dijele na nekoliko tipova:

- Hladnovodne ili visinske, prijelazne, te toplovodne ili nizinske hidroakumulacije ovise o nadmorskoj visini i temperaturi vode ljeti, te ledenom pokrivaču zimi.
- Velike, male i mikroakumulacije ovise o površini vodenoga lica.
- Duboke, srednje duboke i plitke hidroakumulacije ovise o prosječnim dubinama sustava. Protočne i slabo protočne ovise o kolebanju vodostaja u kratkome vremenskom razdoblju, te o malim, potpunim ili djelomičnim izmjenama vode.

Po bioproduktivnosti se hidroakumulacije dijele na eutrofne, mezotrofne i oligotrofne tipove. Osnovna ribarstvena klasifikacija dijeli akumulacije na slamonidne (pastrvske), barbidne (mrenske), te ciprinidne (šaranske) vode.

Akumulacijsko jezero Peruča prethodno je dobro istraženo (Habeković i sur. 1975), te je utvrđeno da ima više značajke hladnovodnoga i velikoga dubokoga, oligotrofnog, salmonidnoga jezera, iako se nalazi na nižoj nadmorskoj visini i ljeti u toplijem klimatu.

Na hidroakumulaciji Peruča poduzimane su mnoge ribarstvene eksperimentalne i gospodarske mjere koje su dale veoma pozitivne rezultate, pa hidroakumulacija Peruča može poslužiti kao dobar primjer ribarstvenoga iskorištavnja dubokih oligotrofnih jezera tog tipa.

Poribljavanje

Hidroakumulacija Peruča nastala je izgradnjom brane na rijeci Cetini 1958. godine. Stoga su i autohtone ribe rijeke Cetine (Taler 1953, Marko i sur. 1968) bile osnovno matično stado za razvoj ihtipopulacije u jezeru. No, promjena uvjeta obitavanja dovela je i do promjena u sastavu kakvoće i količine postojećih ribljih zajednica (Habeković i sur. 1975. Popović i Habeković 1981). Gotovo sasvim su nestale ili su prisutne u veoma malim količinama vrijedne reofilne vrste riba (potočna pastrva, zubatak), a namnožile su se i postale dominantne gospodarski manje vrijedne, ali zato endemične autohtone limnofilne vrste riba (ilirski klen, cetinska ukliva, cetinski badelji - lizibaka i druge).

Sastav ihtiofaune ukazao je na nužnost poduzimanja određenih gospodarskih zahvata. Osnovna je mjera promjena kakvoće postojećih ihtipopulacija, odnosno poribljavanje raznim kvalitetnijim gospodarski vrednijim ribljim vrstama.

Pri odabiranju vrsta veoma je važna bila što bolja iskorištenost prirodne bioproduktivnosti jezera, tj. korištenje svih prehrambenih etaža jezera, te mogućnost boljšega ribolovnog korištenja, pa je provedena introdukcija i autohtonih i alohtonih vrsta riba.

Od autohtonih vrsta nasadena je potočna pastrva, a od novih su vrsta jezerska zlatovčica i kalifornijska pastrva (Habeković i Popović 1978), tj. vrste riba atraktivne za športski ribolov.

Poribljavanje jezera provedeno je tijekom 1975. i 1976. godine pretežito 5-9 mjesecnim mlađem, te manjim dijelom jednogodišnjim (1+) pastrvskim vrstama riba. Nasadeno je ukupno 241 550 komada riba, odnosno 161 kom/ha jezerske površine

(1 500 ha). U nasadnoj strukturi potočna je pastrva zastupljena s 41%, jezerska zlatovčica s 44% i kalifornijska pastrva s 15%.

Iako su nasadene količine riba dosta male, već tijekom iskorištavanja 1976. i 1977. godine utvrđena je prisutnost introduciranih vrsta riba u ukupnoj lovini u jezeru s 18%, što znači da je poribljavanje bilo uspješno. Nasadena riba veoma je dobro rasla, tj. prosječne dužine od 30 cm i mase od 330 grama. Dosta je primjeraka mase od 640 do 790 grama, čak i 1070 grama (44 cm), što je rekordan tempo rasta za dvije vegetacijske sezone (nasad u lipnju, ulov u listopadu). Koeficijenti uhranjenosti pokazuju izvanredno kondicijsko i uhranjeno stanje izlovljenih riba (Habeković 1979), osobito jezerske zlatovčice. Ta je vrsta prenesena u bivšu Jugoslaviju iz alpskih jezera 1943. godine. Udomačila se i živi u Bohinjskom i Velikom Plivskom jezeru i u jezeru Kozjak na Plitvicama (Taler 1953; Pažur 1970, Vuković i Ivanović 1971). Ova je vrsta introducirana u mnoga akumulacijska jezera, dobro se adaptirala, te se uspješno reproducira i u njima obitava.

Hydroakumulacija Peruča siromašna je, oligotrofnoga karaktera, u njoj dominiraju veoma sitni planktonski organizmi (Habeković i sur. 1975, Mišetić i Marko 1978), te se postojećom i intorduciranom faunom riba u jezeru mogu veoma malo i samo djelomično iskoristiti resursi planktona u pelagijalu jezera.

Stoga su introducirane ozimice - koregonidi (Habeković 1978. c), tj. izrazite planktonofagne vrste riba koje mogu velike trofične zalihe sitnoga planktona pretvoriti u kvalitetne animalne bjelančevine i riblje meso visoke vrijednosti, slično pastrvskom mesu.

Ribe ozimice brojna su podporodica s mnogo vrsta i podvrsta, uključuju se u porodicu salmonida, a karakterizirana je širokim arealom rasprostranjenosti. Naseljavaju Europu, Aziju, Sjevernu Ameriku u jezerima, rijekama i morima (Grimaldi i sur. 1986). Te ribe do tada nisu bile stanovnici voda na području bivše Jugoslavije. Uočavajući značenje ozimica kao planktonofaga, već je Plančić 1937. i 1938. (Plančić 1938) izvršio poribljavanje Plitvičkih jezera koregonidima (u članku se ne navodi ime vrste ozimice), no nažalost ličinke nisu preživjele.

Tako je za nasadivanje Peruče uvezena embrionirana ikra 1977, 1978. i 1979. godine iz Čehoslovačke i to vrsta *Coregonus peled* (Gm.) kao izraziti planktonofag i *Coregonus lavaretus marena* (Bloch.) koji je uz plankton i bentofag.

Inkubacija ikre, valenje i prva uzgojna faza ličinkama te mlada provedena je 1977. na jednome pastrvskom ribogojilištu, a 1978. i 1979. na jednome šaranskom ribnjačarstvu. Jezero je poribljavano ličinkama, mladuncima i mladem ozimice.

U 1978. godini jezero je poribljeno s 320 000 komada osmodnevnih ličinkama peleda dužine 7-10 mm, te s 190 000 komada mladunaca dužine 16-26 mm.

U 1979. godini introducirano je 600 000 komada 20-dnevnih ličinkama peleda, dužine 7-10 mm, te 9 000 komada mlada u dobi od 3 mjeseca prosječne mase 1,8 g i dužine 6,0 cm.

Iste je godine u jezero nasadena ozimica marena, i to 180 000 komada 15-20 dnevnih ličinkama dužine 10-13 mm.

Ubačene količine ozimica ovisile su o raspoloživim financijskim sredstvima te je nasadna količina ukupnoga fonda introduciranih ozimica (oko 645 kom/ha, s 86% ličinkama) veoma mala u odnosu na normative koji se preporučuju pri poribljavanju ličinkama (16 000 do 32 000 kom/ha, Littak 1973).

Tijekom totalnoga pražnjenja Peruče ljeti 1985. godine, utvrđena je brojna prisutnost ozimica u jezeru (Habeković i Čolo-Aničić 1986). Riba naseljavaju cijeli jezerski biotop od Vrlike do brane, te su u ukupnoj strukturi ulova riba zastupljene s 14% brojnosti. Veličine i mase riba veoma su neujednačene, što je i razumljivo s obzirom na razne godine i veličine pri poribljavanju. Dužina ozimica varira od 28-52 cm, a

masa od 180 - 1 055 grama. Najveći je broj primjeraka oko 30 cm i mase 250 g vjerojatno podrijetla od nasada 1979 godine. Gotovo su sve ribe bile peledi, osim jednoga primjerka koji je bio ozimica marena. Ta je vrsta ubačena u veoma malim količinama, te je i mogućnost njezina opstanka u jezeru problematična. U toj godini nije nađen mlađ peleda, odnosno nije registrirano mriješćenje te vrste.

Poznato je stanje na Peruči tijekom rata ostavilo tragove i na ribljem fondu jezera, a najnepovoljnije je bilo veliko uništavanje raznim eksplozivnim sredstvima.

Ponovnim pražnjenjem hidroakumulacije Peruča u 1994. godini zbog izgradnje brane iz jezera je opet otišao dio peleda Cetinom nizvodno, pa je danas jezero siromašno introduciranim novim ribljim vrstama. Po usmenom priopćenju djelatnika HE Peruča u jezeru i ispod brane bilo je i lovilo se mnogo koregonusa, pretežito mase 1-2 kg. Ulovljen je čak i primjerak od 5,5 kg, a meso je odlične kvalitete, čak bolje od pastrvskog. Isto tako, ima i ribe dužine 20-25 cm što je veoma značajan podatak jer ukazuje na reprodukciju te vrste u jezeru i njezinu daljnju mogućnost reprodukcije. Svakako je brojno stanje peleda kao i drugih vrsta problematično, te se pri obnovi ribljava fonda te činjenice moraju uzeti u obzir.

Sastav ihtiofaune

Na osnovi izvršenih istraživanja i poribljavanja utvrđeno je da su u jezerskom biotopu Peruča sljedeće vrste i podvrste riba:

- Salmonidae
- Potočna pastrva (*Salmo trutta m. fario* L.)
- Jezerska pastrva (*Salmo trutta m. lacustris* L.)
- Kalifornijska pastrva (*Oncorhynchus mykiss* Rich)
- Jezerska zlatovčica (*Salvelinus alpinus* L.)
- Ozimica peled (*Coregonus peled* Gm)
- Ozimica marena (*Coregonus lavaretus maraena* Bloch.)
- Cyprinidae
- Ilirski klen (*Leuciscus illyricus* Heck. et Kn.)
- Cetinska ukliva (*Leuciscus ukliva* Heck.)
- Primorski blistavac (*Leuciscus souffia muticellus* Bon.)
- Strugač (*Leuciscus svallize* Heck. et Kn)
- Cobitidae
- Cetinski badelj, lizibaka (*Cobitis taenia dalmatina* Kar.)

Osim navedenih riba, moguća je i prisutnost drugih vrsta riba iz zapadnobosanskoga područja koje je prirodnim podzemnim vodama povezano s ovim jezerom. Na današnju je prisutnost i količinu navedenih vrsta svakako djelovao i rat.

Gojidba riba

Jedan je od novijih načina u ribarstvenome gospodarenju jezerima primjena najintenzivnijih ribogojstvenih metoda, odnosno gojidba riba u kavezima. Kavezni uzgoj riba bio je poznat već prije nekoliko stotina godina u zemljama jugoistočne Azije (Ling 1977)

Prvi počeci kaveznoga uzgoja riba u bivšoj Jugoslaviji vezani su upravo za hidroakumulaciju Peruča. Tako je 1975. godine postavljen prvi pokus uzgoja kalifornijske pastrve u jezeru Peruča u 6 plutajućih kaveza. Na drvenu konstrukciju postavljene su 2 vrste mreža (prema veličini mreža i dimenziji okaca) koje je izradila Tvornica mreža u Biogradu. Nakon uspješnih prvih uzgojnih rezultata (Habeković 1978. a) pokus je ponovljen još u dva navrata s kalifornijskom pastrvom (Habeković 1978.b, i 1982).

Izvršeni pokusi pokazali su da se nakon 6 do 8-mjesečnog uzgoja kalifornijska pastrva raznih nasadnih količina i masa može postići konzumna veličina uz mali hranidbeni koeficijent (znatno manji od 2) i meso visoke kvalitete. Sva je uzgojena kalifornijska pastrva nasadena u jezero Peruča. U istim je kavezima pokusno uspješno uzgajan i *Coregonus peled* (Habeković i sur. 1981) koji je također introduciran u jezero. Taj je eksperimentalni uzgoj ukazao na velike mogućnosti gojidbe riba u kaveznim uvjetima u otvorenim vodama i u moru, te se broj vrsta koje se uzgajaju sve više povećava od pastrvskih, šaranskih, somovskih, do morskih vrsta riba.

Danas se može konstatirati da je tehnologija kaveznoga uzgoja riba usvojena (Habeković 1989). Tako se i prišlo uzgoju većih razmjera, osnivaju se posebna poduzeća za uzgoj ili se nalaze unutar nekih radnih organizacija. Kao primjer može poslužiti privredni objekt uzgoja kalifornijske pastre u 40 plutajućih kaveza u hidroakumulaciji Salakovac na Neretvi u periodu prije rata.

Ostale mjere

Za povećanje stupnja trofičnosti dijela hidroakumulacije Peruča provedene su i neke druge gospodarske i ostale mjere (Mišetić i Marko 1978).

Tako je tijekom 1975. i 1976. godine provedena eksperimentalna fertilizacija plićega gornjeg dijela jezera u području Vrljke. Primijenjeno je kompleksno mineralno gnojivo s različitim omjerom elemenata (17:8:9 i 13:10:12) u dozi od 200 kg/ha.

Druga primijenjena mjera istih je godina introdukcija beskraljeznjaka. U nedostatku različite bentoske faune u jezero su uneseni viši račići Amphipoda iz porodice Gammaridae. Račići potječu iz rijeke Cetine, a nasadivani su nekoliko puta.

Navedene mjere su uvjetovale razliku u bioprodukciji pojedinih područja jezera (direktan utjecaj na primarnu i sekundarnu produkciju), ali je jezero i dalje zadržalo svoj prvobitni oligotrofni karakter (Mišetić i Habeković 1993).

Zaključak

Osnovna mjera koja uvjetuje ribarstvene mogućnosti dubokih hladnovodnih oligotrofnih hidroakumulacija tipa Peruča promjena je strukture ribljih populacija u kvalitativnome smjeru. Za športsko-rekreacijski ribolov valja nasaditi potočnu pastrvu i jezersku zlatovčicu kao vrste veoma atraktivne za športski ribolov za koje postoje dobri uvjeti obitavanja.

Za komercijalni ili privredni ribolov najpogodnija je ozimica *Coregonus peled*, koja u jezerskim uvjetima može veoma povećati ihtioproductivnost, te dati godišnje od nekoliko do 10 kg/ha veoma kvalitetne riblje vrste (prethodno valja poribiti). Introducirana nova vrsta prvi puta nasadena u jezero Peruča adaptirala se i prešla prvu fazu aklimatizacije (poribljavanje, preživljavanje riba, mriješćenje, preživljavanje potomstva). Druga etapa, tj. naturalizacija (sadrži nekoliko ciklusa) danas svakako znatno ovisi o količini preživjelih riba nakon rata u jezeru. No, važno je naglasiti da u hidroakumulaciji nema aborigene ihtiofaune, da se koregonidi reproduciraju i da imaju sve uvjete za svoje obitavanje u jezeru.

Kaveznom uzgojem kalifornijske pastre u Peruči, gdje je i postavljen prvi pokusni uzgoj u kavezima u bivšoj Jugoslaviji, ukazano je na velike mogućnosti bioprodukcij-skoga iskorištavanja siromašnih hidroakumulacija primjenom najintenzivnijih ribogojstvenih metoda. Kavezni je uzgoj veoma perspektivan, kako za veća proizvodna poduzeća, tako i za uključivanje pojedinačnih uzgajivača.

Literatura

Grimaldi E. et. al: I coregoni biologia e spezzimentazione. E.S.A.V., Verona, 1986.

- Habeković, Dobrila, Marko, Sibila, Debeljak, Ljubica, Pažur, Krešimir, Mišetić, Stjepan, Popović, Josip, Fašaić, Krešimir, Solar, Dubravko: Ihtiološko biološka istraživanja i prijedlozi o mogućnostima ribarskog gospodarenja u akumulacijskom jezeru Peruća. Arhiva Inst. za slat. ribar. Zgb., 1975, str. 118, Zagreb.
- Habeković, Dobrila, Popović, Josip: Pozitivni rezultati ribarskih mjera na akumulacionom bazenu Peruća. Saopš. Simp. o ut. veš. jez. na čov. sred., JDVB, Trebinje, 1978, 193-195
- Habeković, Dobrila: Prvi rezultati kaveznog uzgoja kalifornijske pastrve u jezerskim uvjetima. 1978a, Ribar. Jugosl., Ribozajednica, Zagreb, 33 (3): 52-64
- Habeković, Dobrila: Kavezni uzgoj riba - perspektiva u bioproduktivnom iskroštavanju akumulacionih jezera. Saopš. Simp. o ut. veš. jez. na čov. sred., JDVB, Trebinje, 1978b: 196-198
- Habeković, Dobrila: Introdukcija Coregonusa - ozimica u naše vode. Ribar. Jugosl., Ribozajednica, Zagreb, 1978c, 23 (6): 143-144
- Habeković, Dobrila: Rast jezerske zlatovčice *Salvelinus alpinus* L. u akumulacijskom jezeru Peruća. II kong. ekologija Jug., SDEJ, Zagreb, 1979, 1759-1767
- Habeković, Dobrila, Mišetić, Stjepan, Marko, Sibila: Kavezni uzgoj Coregonus peleda. Ribar. Jugosl., Ribozajednica, Zagreb, 1981, 36 (6): 121-127
- Habeković, Dobrila: Uzgoj kalifornijske pastrve u kavezima. Ribar. Jugosl., Ribozajednica, Zagreb, 1982, 37 (1), 4-8
- Habeković, Dobrila, Čolo-Aničić, Ivan: Uspješnost poribljavanja ozimicama jezera Peruća. JDVB Saop. sa XIII kongresa, Knj. 1. Mostar, 1986, 209-212.
- Habeković, Dobrila: Perspektive i problemi kaveznog uzgoja riba u hidroakumulacijama. Savj. o ribar. na hidroakum. Ribogoj. Blagaj, Hidroel. na Neretvi, Inst. za stud. razv. posl. Mostar, 1989, 245-248
- Ling, S.W.: Aquaculture in Southeast Asia. University of Washington Press, Seattle, Washington, 1977.
- Littak, A.: Wskazowski na temat produkovanja pelugi v jeziorcah. Gospod. rybma, Warszawa, 1973, (10): 16-19
- Marko, Sibila, Debeljak Ljubica, Bralić Vlatko, Sabioncello Ivo: Limnološke karakteristike akumulacije Peruća. Ribar Jugosl. Ribozajednica, Zagreb, 1968, (2), 38 - 44
- Mišetić, Stjepan, Marko, Sibila: Povećanje stupnja trofičnosti akumulacionog jezera Peruća poduzimanjem nekih mjera. Saopš. Simp. o ut. veš. jez. na čov. sred., JDVB, Trebinje, 1978: 176-179
- Mišetić, Stjepan, Habeković, Dobrila: Biološko - ekološka istraženost rijeke Cetine. Kong. poz. istr. biok. pod., HED, Hrvatski prirodoslovni muzej, Institut "Planine i more", Makarska, 1993, 33
- Pažur, Krešo: Mogućnosti razvoja ribarskog turizma na području nacionalnog parka "Plitvička jezera". Ribozajednica, Zagreb, 1970, Ribar. Jugosl., 25 (3), 66-69
- Plančić, Josip: Nasadivanje coregonusa u Plitvičkim jezerima. Ribarstvo, Ribarska književna zadruga, Zagreb, 1 (1-2): 5-7
- Popović, Josip, Habeković, Dobrila: Dužinsko - težinski odnos ilirskog kelna (*Leuciscus illyricus* Heckel et Kner, 1858) iz akumulacijskog jezera Peruća. Ichthyologia, UBNDJ, Beograd, 1981, 13 (1), 73-80
- Taler, Zlatko: Rasprostranjenje i popis slatkovodnih riba Jugoslavije. Gl. Prir. muz. Srp. zem. Ser. B, knj. 5-6, Beograd, 1953.
- Vuković, Tihomir, Ivanović Božina: Slatkovodne ribe Jugoslavije. Zemaljski muzej BiH, Sarajevo, 1971.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Dagmar Šurmanović, Stjepan Mišetić,
Natalia Tomašković, Milorad Mrakovčić,
Vesna Matijević-Kušter,

R 6-08

Biološke značajke obodnih kanala hidroenergetskoga sustava HE Dubrava

SAŽETAK: *U radu su izneseni rezultati fizičko-kemijskih, bioloških i saprobioloških istraživanja obodnih kanala akumulacijskoga jezera HE Dubrava od 1989. do 1993. godine.*

*Obodni kanali primaju procjedne vode iz hidroakumulacije i oborinske vode s okolnoga terena pa je koncentracija otopljenoga kisika u vodi i njegova saturacija bila niska tijekom cijeloga promatranog razdoblja. S obzirom na te pokazatelje, vode u obodnim kanalima pripadaju u vode II-III, III, a povremeno III-IV kategorije. Međutim, prema saprobiološkoj analizi perifitona i makrozoobentosa voda je povremeno bolje kakvoće što je posljedica ponekad masovnoga razvitka vrsta *Synedra ulna*, *Diatoma vulgare*, *Melosira varians*, *Ulotrix zonata*, *Goera pilosa*, *Anabolia nervosa*, koje su prema Liebmannu pokazatelji nižega stupnja saprobnosti. Međutim, prema Sladečeku ove vrste imaju široku valencu, indikatori su od oligo do alfa-mezosaprobnog stupnja i nisu pouzdani pokazatelji kakvoće vode.*

KLJUČNE RIJEČI: *obodni kanali, hidroelektrana, perifiton, zoobentos, bioindikatorski organizmi.*

Biological Characteristics of Dubrava Hydropower System Drainage Canals

ABSTRACT: *The paper describes results of physical-chemical, biological and saprobiological research works conducted on the drainage canals of the Dubrava Hydroelectric Power Plant reservoir in the period 1989-1993.*

The drainage canals accept the seepage water from the reservoir and the precipitations from the surrounding terrain, so the concentration of oxygen dissolved in water and its saturation were low throughout the recording period. With respect on the indices, the drainage canal water is of category II to III, and occasionally of category III to IV.

Mr. Dagmar Šurmanović, dipl. inž. biol. i Natalia Tomašković, dipl. inž. biol., Ribarski centar, Zagreb, Dr. Stjepan Mišetić, dipl.inž.biol., Elektroprojekt inženjering, d.d., Zagreb, Dr. Milorad Mrakovčić, dipl. inž. biol., Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Mr. Vesna Matijević-Kušter, dipl. inž. kem., Zavod za javno zdravstvo Varaždinske županije, Varaždin

*However, the results of saprobiological analysis of periphyton and macrozoobenthos show that the water quality is occasionally better as the result of massive growth of the species *Synedra ulna*, *Diatoma vulgare*, *Melosira varians*, *Ulotrix zonata*, *Goera pilosa*, and *Anabolia nervosa* which are, according to Liebmann, the indices of higher level of saprobic activity. But, according to Sladeček these species have wide valence, the indices are of oligo to alfa-mezosaprobic level and they are not reliable indices of water quality.*

KEY WORDS: *drainage canal, hydroelectric power plant, periphyton, zoobenthos, bioindicators*

1. Uvod

Izgradnja hidroenergetskoga sustava HE Dubrava na rijeci Dravi dovršena je 1989. godine. Opsežna biološko-ekološka istraživanja započeta prije izgradnje HE Dubrava (Habeković et al. 1982.), nastavljena nakon zatvaranja brane (Mišetić et al. 1990., 1991., Šurmanović et al. 1992., 1993., 1994.), a traju do današnjih dana, imaju za cilj praćenje postupnoga razvitka biocenoza u novoformiranim vodenim ekosistemima. Takvi ekosistemi prolaze kroz određene faze svojeg biološkoga razvoja, čiji intenzitet, uz fizičko-kemijske značajke vode kojom se sustav opskrbljuje, ovisi i o ekološkim uvjetima u tim sredinama.

Obodni kanali hidroenergetskoga sustava HE Dubrava primaju procjedne vode iz hidroakumulacije i oborinske vode s okolnoga terena. Brzina vode u njima iznosi oko 1 m/s, a protok je od 0 na početku do 18,9 m/s na kraju lijevoga, odnosno 17,2 m/s na kraju desnoga obodnog kanala.

U ovom radu bit će izneseni rezultati petogodišnjih istraživanja bioloških i saprobioloških značajki i lijevoga i desnog obodnog kanala, dobivenih na temelju analiza zajednica perifitona i makrozoobentosa, uz poseban osvrt na neke fizičko-kemijske pokazatelje kakvoće vode čije se vrijednosti u obodnim kanalima značajno razlikuju od njihovih vrijednosti utvrđenih na drugim lokalitetima hidroenergetskoga sustava.

2. Organizacija istraživanja

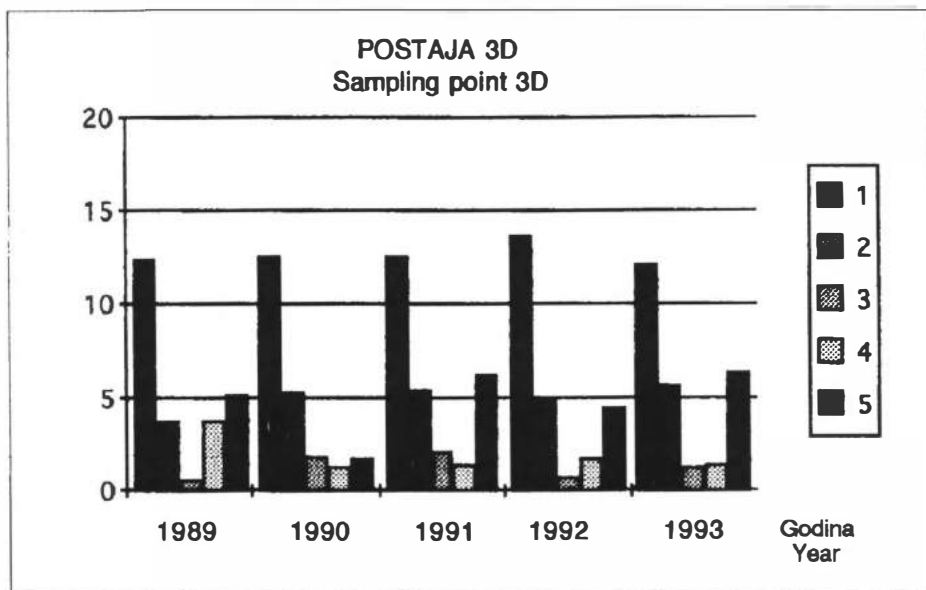
Za utvrđivanje bioloških i saprobioloških značajki lijevoga (postaja 3D) i desnog (postaja 4D) obodnoga kanala istraživane su kvalitativne i kvantitativne strukture zajednica mikrofitobentosa i makrozoobentosa u razdoblju od 1989.-1993. godine. Svake godine istraživanja su obuhvatila zimski, proljetni, ljetni i jesenski period, osim u 1992. (proljeće, ljeto i jesen). Biološki uzorci sakupljeni su na stalnim postajama uz istodobno skupljanje uzoraka vode za fizičko-kemijsku analizu.

Saprobiološka procjena kakvoće vode istraživanih lokaliteta temelji se na relativnoj zastupljenosti bioindikatorskih organizama u zajednicama mikrofitobentosa i makrozoobentosa. Indikatorske vrste i njihove indikatorske vrijednosti određene su prema Liebmannu (1962.), a indeks saprobnosti prema Pantle-Bucku (1955.).

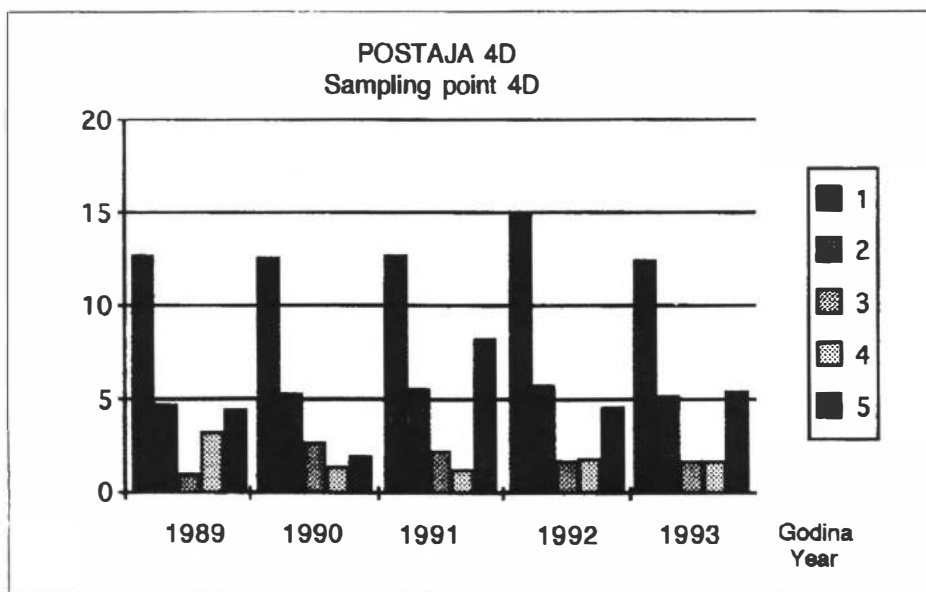
3. Rezultati istraživanja

3.1. Fizičko-kemijske značajke

Na slikama 1 i 2 prikazana je dinamika nekih fizičko-kemijskih pokazatelja u lijevome (3D) i desnome (4D) obodnom kanalu u razdoblju od 1989.-1993. godine. Slike 1. i 2. Dobiveni rezultati pokazali su da su prosječne vrijednosti temperature vode niske na obje postaje, kao i prosječne vrijednosti BPK5, utročka KMnO₄ i KPK. Glavna je značajka vode obodnih kanala niska koncentracija otopljenoga kisika te slaba satu-



Sl. 1. Dinamika fizičko-kemijskih pokazatelja u lijevome obodnom kanalu (3D) od 1989-1993. (1-Temperaturu vode u °C, 2-Otopljeni O₂ mg/l, 3-BPK5 mg O₂/l, 4-KMnO₄ mg O₂/l, 5-KPK mg O₂/l)
 Fig. 1. Dynamics of physical and chemical factors in the left lateral channel (3D) from 1989 till 1993 (1-Water temperature °C, 2-Dissolved O₂ mg/l, 3-BOD₅ mg O₂/l, 4-KMnO₄ mg O₂/l, 5-COD mg O₂/l)



Sl. 2. Dinamika fizičko-kemijskih pokazatelja u desnome obodnom kanalu (4D) od 1989-1993. godine (1-Temperaturu vode u °C, 2-Otopljeni O₂ mg/l, 3-BPK5 O₂ mg/l, 4-KMnO₄ mg/l, 5-KPK mg O₂/l)
 Fig. 2. Dynamics of physical and chemical factors in the right lateral channel (4D) from 1989 till 1993. (1-Water temperature °C, 2-Dissolved O₂ mg/l, 3-BOD₅ mg O₂/l, 4-KMnO₄ mg O₂/l, 5-COD mg O₂/l)

racija. Zbog toga je, u svim godinama istraživanja, voda na postajama 3D i 4D pripadala II-III i III razredu, a u prvoj godini istraživanja čak III-IV razredu, ali samo na postaji 3D.

3.2. Biološke značajke

Od bioloških značajki obodnih kanala akumulacijskoga jezera HE Dubrava, istraživanja su obuhvatila analizu zajednica mikrofitobentosa i makrozoobentosa.

3.2.1. Mikrofitobentos

Zajednica mikrofitobentosa dobro je razvijena na obje postaje. Broj nađenih vrsta perifitonskih algi i relativna zastupljenost s kojom se one javljaju u zajednici varira sezonski i prostorno, a razlike su primijećene i u pojedinim godinama istraživanja.

Na slici 3 prikazana je kvalitativna struktura mikrofitobentosa, izražena u postotku zastupljenosti pojedinih skupina mikrofitita u istraživanome razdoblju na postajama 3D i 4D.

Na postaji 3D determinirano je 137, a na postaji 4D 132 vrste algi. Glavno obilježje zajednici perifitona na obje postaje daju Diatomeae, među kojima su neke vrste stalno prisutne, a povremeno se javljaju s velikom abundancijom, čak masovno. Takve karakteristične vrste bile su *Diatoma vulgare*, *Melosira varians*, *Synedra ulna*, *Fragilaria capucina*, *Nitzschia palea*, *Gomphonema olivaceum*, *Meridion circulare* te neke vrste rodova *Navicula* i *Cymbella*. Od subdominantnih Chlorophyte najčešće su bile vrste rodova *Ulothrix* i *Microspora*, a od Cyanophyta vrste *Phormidium autumnale*, *Phormidium uncinatum* i *Oscillatoria limosa*. Predstavnici Bacteryophyta bili su nađeni samo u prvoj godini istraživanja i to vrsta *Sphaerotilus natans*. Skupina Rhodophyta bila je također zastupljena samo s jednom, ali stalno prisutnom, često i vrlo brojnom vrstom *Chantransia chalybea*.

3.2.2. Makrozoobentos

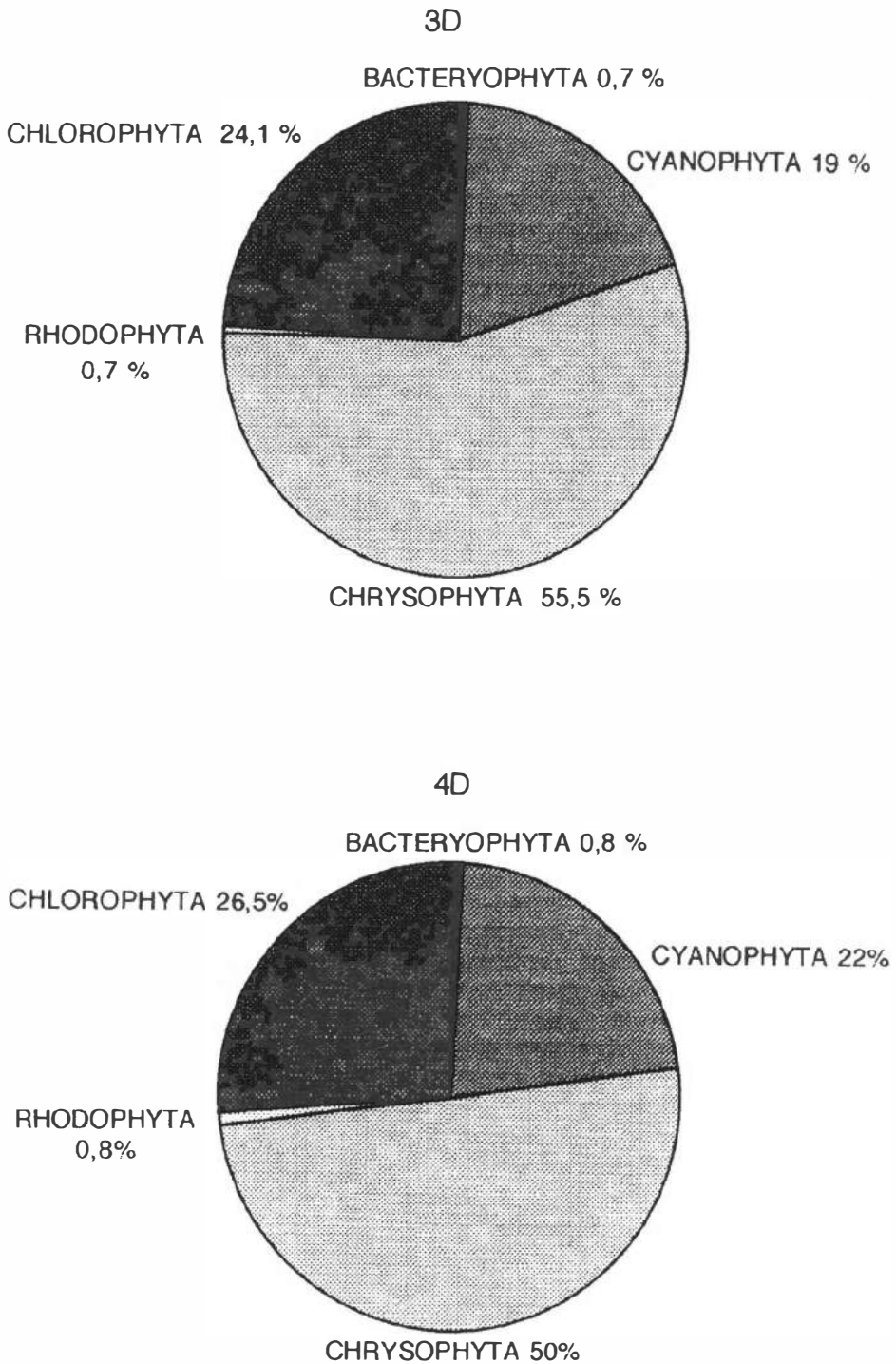
Na slici 4. prikazana je kvalitativna struktura makrozoobentosa na postajama 3D i 4D u istraživanome razdoblju.

U zajednici makrozoobentosa dominiraju predstavnici reofilne faune: Insecta, Turbellaria i Crustacea. Predstavnici Gastropoda, Oligochaeta i Hirudinea bili su nađeni samo povremeno. Cenotičku strukturu karakteriziraju Crustacea, posebno Amphipoda (*Rivulogammarus* sp.) te Isopoda (*Asellus aquaticus*), koji su, iako stalno prisutni, brojčano bili slabije zastupljeni. Značajno mjesto u zajednici zauzimaju i Trichoptera, vrste *Goera pilosa* i *Anabolia nervosa*. S obzirom na broj determiniranih makroskopskih beskralješnjaka, zajednica makrozoobentosa bila je bogatija na postaji 3D (25 vrsta) nego na postaji 4D (19 vrsta).

3.3. Biološka procjena kakvoće vode

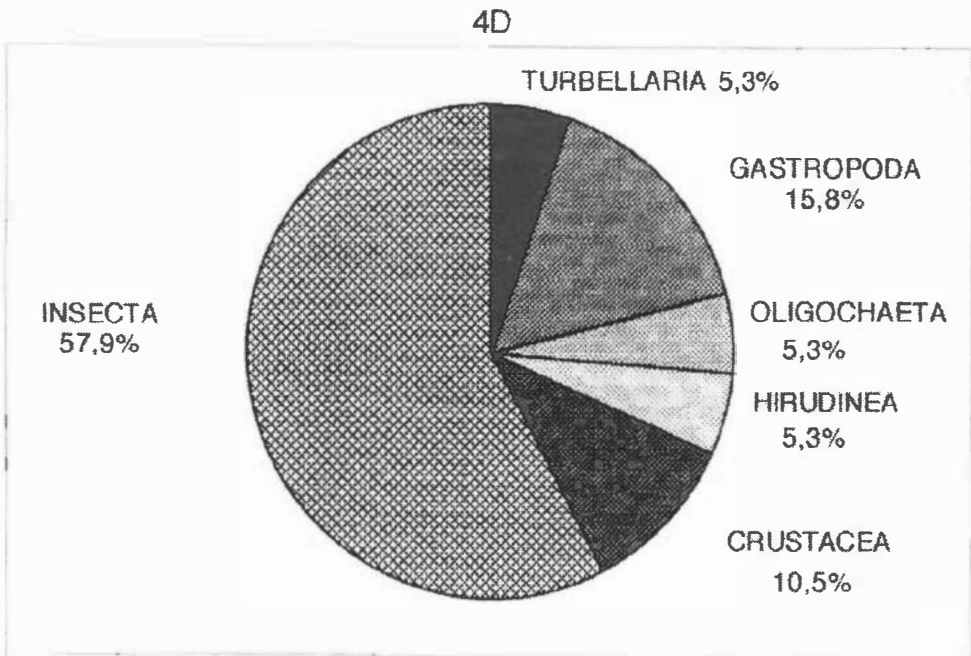
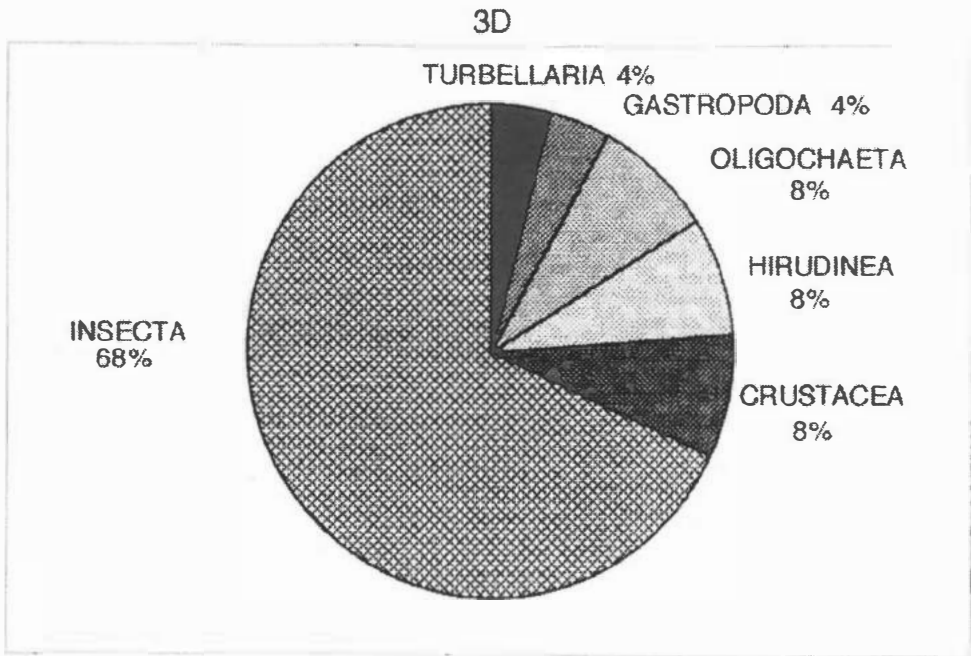
Rezultati saprobiološke analize vode lijevoga (3D) i desnoga (4D0) obodnoga kanala prikazani su na slikama 5. i 6. i na tablici 1.

Tijekom istraživanoga razdoblja indeksi saprobnosti na postaji 3D i 4D kretali su se u vrlo širokom rasponu od 1,9 odnosno 1,6 u 1993. do 2,9 u 1989. godini. Ovako širok raspon vrijednosti indeksa saprobnosti posljedica je prisutnosti polisaprobnih indikatorskih organizama u zajednici perifitona tijekom prve godine istraživanja. Sljedećih godina u zajednicama mikrofitobentosa i makrozoobentosa nestaju polisaprobne vrste, a na obje postaje dominiraju vrste indikatori betamezosaprobnoga stupnja.



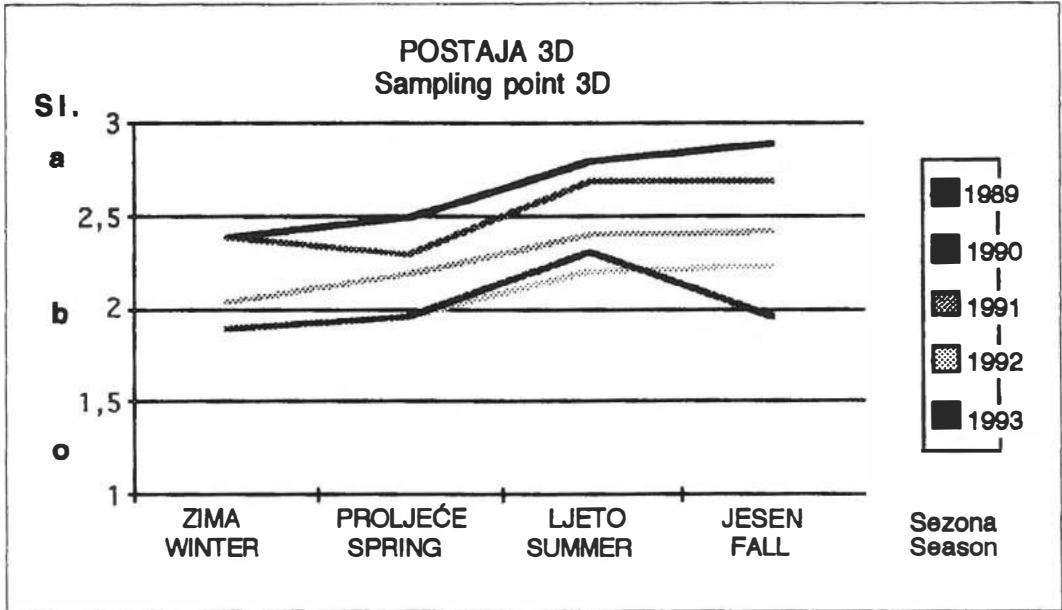
Sl. 3. Kvalitativna struktura mikrofitobentosa (%) na postajama 3D i 4D od 1989-1993.

Fig. 3. Qualitative structure (%) of periphyton at sampling points 3D and 4D in the period of 1989-1993.



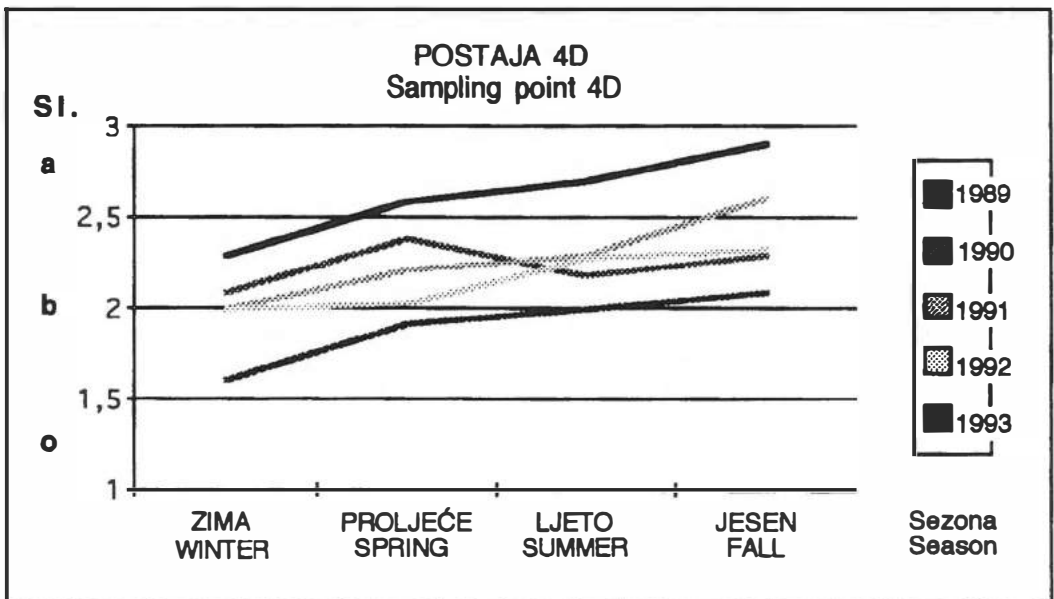
Sl. 4. Kvalitativna struktura (%) makrozoobentosa na postajama 3D i 4D od 1989-1993.

Fig. 4. Qualitative structure (%) of macrozoobenthos at sampling points 3D and 4D in the period of 1989-1993.



Sl. 5. Indeksi saprobnosti (IS) tijekom istraživanoga razdoblja na postaji 3D (o-oligosaprobni, b-betamezosaprobni, a-alfamezosaprobni, p-polisapr. stupanj)

Fig. 5. Saprobic indices (SI) at sampling point 3D during the investigated period (o-oligosaprobic, b-betamesosaprobic, a-alphamesosaprobic, p-polysaprobic stage)



Sl. 6. Indeksi saprobnosti (IS) tijekom istraživanoga razdoblja na postaji 4D (o-oligosaprobni, b-betamezosaprobni, a-alfamezosaprobni, p-polisapr. stupanj)

Fig. 6. Saprobic indices (SI) at sampling point 4D during the investigated period (o-oligosaprobic, b-betamesosaprobic, a-alphamesosaprobic, p-polysaprobic stage)

Tablica 1. Broj perifitonskih i makrozoobentoskih saprobioloških indikatorskih vrsta na postajama 3D i 4D u istraživanom razdoblju (S-stupanj saprobnosti (Liebmann) o-oligosaprobni, b-betamezosaprobni, a-alfamezosaprobni, p-polisaprobni)

Table 1. Number of saprobiological indicator species of peryphyton and macrozoobenthos at sampling points 3D and 4D during the investigated period (S-Saprobic stage (Liebmann), o-oligosaprobic, b-betamesosaprobic, a-alphamesosaprobic, p-polysaprobic)

S	3D	4D
o	14	15
b	26	27
a	7	7
p	2	2
Ukupno	49	51

4. Diskusija i zaključci

U provedenim istraživanjima čiji su rezultati ukratko izloženi, nastojala se pratiti dinamika nekih fizičko-kemijskih pokazatelja vode, njihov utjecaj na razvitak biocenozna bentosa te upotrebom bioindikatorskih organizama odrediti stupanj onečišćenja vode lijevoga i desnog obodnoga kanala akumulacijskog jezera HE Dubrava. Rezultati fizičko-kemijske analize vode nisu pokazali značajnijih razlika u kakvoći vode između lijevoga (3D) i desnoga (4D) obodnoga kanala. Niske koncentracije otopljenog kisika i niska saturacija karakteristične su za cijelo istraživano razdoblje. Na temelju tih pokazatelja voda u oba obodna kanala često pripada II-III i III, povremeno i III-IV razredu.

Zajednica perifitona dobro je razvijena na oba lokaliteta. Broj nađenih vrsta u zajednici i njihova abundancija varira sezonski i prostorno, a razlike su primijećene i u pojedinim godinama istraživanja. Kvalitativnu strukturu zajednice karakteriziraju Diatomeae.

Zajednicu makrozoobentosa, s obzirom na broj nađenih vrsta, karakteriziraju predstavnici Insecta, ali s obzirom na brojnost pojedinih vrsta glavno obilježje zajednici daju Crustacea, posebno Isopoda.

Saprobiološka procjena vode obodnih kanala pokazala je da je kakvoća vode na istraživanim lokalitetima nešto bolja nego što to pokazuju kemijske analize. Zastupljenost s kojom se pojedine vrste vodenih organizama, indikatora određenog stupnja saprobnosti javljaju, odraz je utjecaja fizičkih i kemijskih značajki vode u dužem vremenskom razdoblju, dok rezultati fizičko-kemijskih analiza odražavaju samo trenutno stanje. Bolja kakvoća vode prema biološkim pokazateljima posljedica je povremenoga masovnog razvitka nekih vrsta, kao što su *Diatoma vulgare*, *Melosira varians*, *Synedra ulna*, *Gomphonema olivaceum*, *Goera pilosa*, *Anabolia nervosa*. Te vrste su, prema Liebmannu indikatori betamesosaprobne i oligosaprobne vode. Međutim prema Sladečeku (1973) navedeni vodeni organizmi imaju široku valencu i javljaju se u vodama od oligo do alfa-mezosaprobnog stupnja i nisu pouzdani pokazatelji kakvoće vode.

Slični rezultati karakteristični su i za obodne kanale akumulacijskoga jezera Varaždin (Šurmanović et al. 1989.).

Literatura

1. Habeković, D., Mišetić, S. et al.: Postojeće fizičko-kemijsko i biološko stanje rijeke Drave od Ormoža do D. Dubrave te pritoka Plitvice i Bednje. Studija IRC-a za ribarstvo, 1982. Arhiva
2. Liebmann, H.: Handbuch der Frischwasser und Abwasser-Biologie I, R. Oldenbonrg, München, 1962.
3. Mišetić, S., Mrakovčić, M., Šurmanović, D., et al.: Fizičko-kemijske, biološke, ihtiološke značajke nadzemnih voda hidroenergetskog sustava HE Dubrava u godini 1989. i 1990. Studija, OOUR IRC za ribarstvo, Zagreb, 1990, 1991. Arhiva.
4. Pantle, R., Buck, H.: Die biologische Uberwachungder Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. Besondere Mittelung und Deutschen Gewasserkundlichen, 12, 1955. str. 135-143
5. Sladeček, V.: Water quality system from the Biological Point of View. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart, 1973.
6. Šurmanović, D., Mišetić, S., Rački, R.: Biološke značajke obodnih jaraka hidroenergetskog sustava HE Čakovec. Savjetovanje o ribarstvu na hidroakumulacijama. Mostar, 1989., str. 29-37
7. Šurmanović, D., Mišetić, S., Tomašković, N., et al.: Fizičko-kemijske, biološke i ihtiološke značajke nadzemnih voda hidroenergetskog sustava HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava u godini 1991., 1992. i 1993. Studija, Ribarski centar, Zagreb, 1992., 1993., 1994. Arhiva.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Zoran Đuroković, Darko Brnić-Levada,
Zdenko Tadić

R 6-09

Utjecaj izgradnje vodnih stuba na pronos nanosa

SAŽETAK: *Izgradnja hidroelektrana na rijeci Dravi datira s početka stoljeća, te je izgrađen velik broj akumulacija u Austriji i Sloveniji. U Republici Hrvatskoj sedamdesetih godina započinje se s izgradnjom višenamjenskih objekata. Nakon izgradnje i puštanja u rad prve vodne stube VS Varaždin 1975. godine, uslijedile su VS Čakovec 1982. i VS Dubrava 1989. godine.*

Izgrađenim akumulacijama iskorištava se hidropotencijal rijeke Drave, ali i zaustavlja prirodan pronos nanosa. Od početka se šezdesetih godina u Republici Hrvatskoj provode mjerenja pronosa nanosa koja ukazuju na pojavu promjena režima pronosa nanosa u koritu rijeke Drave i na znatan utjecaj izgrađenih hidroelektrana i vodnih stuba na smanjenje pronosa nanosa i morfološke promjene u koritu.

Na osnovi višegodišnjih nizova podataka o mjerenju nanosa, vodostaja i protoka na vodomjernim stanicama na rijeci Dravi uočavaju se promjene u kojima veliki udio ima izgradnja navedenih objekata. Primjetno je smanjenje pronosa nanosa po izgradnji višenamjenskih objekata, a opaženi su trendovi opadanja vodostaja i protoka, gdje izraženiji trendovi sniženja vodostaja ukazuju na značajne morfološke promjene u koritu.

Utjecaj izgrađenih višenamjenskih objekata, uz izgradnju planiranih vodnih stuba, bez realizacije ukupnog višenamjenskoga sustava imat će za posljedice još izraženije morfološke promjene. Iz tog razloga pri realizaciji izgradnje, kao i određivanju redosljeda izgradnje, potreban je multidisciplinarni rad u kojem ključnu ulogu treba imati cjelovit hidrotehnički pristup gospodarenju vodama.

KLJUČNE RIJEČI: *suspendirani nanos, vučeni nanos, mjerenja, akumulacije, vodne stube, pronos nanosa*

Impact of Hydro System Construction on Sediment Transport

ABSTRACT: *Construction of hydroelectric power plants on the Drava River was started already at the beginning of the century, when a large number of reservoirs were built in Austria and Slovenia. The construction of a multipurpose project was initiated in the Republic of Croatia during the seventies. The first plant of this hydro system, the Varaždin Hydroelectric Power Plant was put into operation in 1975. It was soon followed by Čakovec Hydroelectric Power Plant in 1982, and Dubrava Hydroelectric Power Plant in 1989.*

Zoran Đuroković, dipl. inž. - JVP "Hrvatska vodoprivreda", O.J. Osijek
Darko Brnić-Levada, dipl. inž. - JVP "Hrvatska vodoprivreda", O.J. Osijek
Zdenko Tadić, dipl. inž. - "Hidroing" Osijek

The constructed reservoirs use the water potential of the Drava River and stop natural transport of sediment. In early sixties the sediment transport measurements were conducted which indicated the change in the transport regime in the Drava riverbed and the considerable impact of the built hydroelectric power plants and the complete hydropower system on the sediment transport reduction and morphological changes in the bed.

Based on multiannual series of transport, water level and discharge measurement data recorded at the raingage stations on the Drava River the changes were noticed which were considerably affected by construction of the said plants. The decrease in sediment transport after construction of the multipurpose schemes was considerable, and the trends of water level and discharge decrease have also been noticed. The pronounced tendency towards water level lowering indicates to significant morphological changes in the riverbed.

The construction of multipurpose structures in addition to the hydropower system, in case the multipurpose system is not realized, will cause more pronounced morphological changes as the consequence. Therefore, a multidisciplinary approach is required in project realization and determination of construction sequence, where the key role is played by the integrated hydrotechnical approach to the water resources management.

KEY WORDS: *suspended load, bed load, recording, reservoir, hydropower system, sediment transport*

1. Uvod

Rijeka Drava izvire ispod Krenzberga na apsolutnoj visini od 1192 m, u dijelu Tirola koji pripada sjevernoj Italiji. Najveća je pritoka Drave Mura i čini trećinu vodne bilance u nizvodnom toku. Slivom rijeke Drave povezano je pet zemalja: Italija, Austrija, Slovenija, Mađarska i Hrvatska, na slivnoj površini od približno 40.000 km².

Rijeka Drava u gornjem je toku izrazito alpska rijeka velike vodne snage i energije. U donjem toku, u Republici Hrvatskoj, Drava poprima značajke nizinske rijeke. Puna je sprudova i mnogih meandara, pa zahtijeva brojne hidrotehničke intervencije. Vodom se prihranjuje od topljenja snijega iz Alpa te su najveće protoke u lipnju i u srpnju, što je vrlo povoljno za korištenje voda u proizvodnji električne energije jer rijeke pluvijalnog režima tada oskudijevaju u vodi.

Od svih panonskih rijeka Drava ima najveći prosječan pad, pa je i u svojem donjem toku dosta brza. Niti tu nema sve odlike prave nizinske rijeke pa često podriva obale, mijenja položaj i odnosi erodirani materijal, da bi ga kasnije odlagala i stvarala sprudove. Uslijed toga državna granica prema Republici Mađarskoj na mnogim mjestima odstupa od stare hrvatsko-ugarske granice povučene još u drugoj polovici 18. stoljeća, prema tadašnjem koritu rijeke Drave.

Iz navedenih razloga rijeka Drava pripada redu europskih i svjetskih vodotoka s najvećim brojem intervencija u koritu, što može ilustrirati činjenica da je 1784. godine Drava u nizinskome dijelu imala za polovicu duži tok od današnjega. Prvi radovi u cilju omogućavanja plovidbe započeli su još davne 1884. godine, a 1908. godine započinje se i s radovima na regulaciji korita rijeke Drave.

Poradi velike važnosti vodotoka, prva organizirana mjerenja vodostaja na ovom području Drave potječu još iz prve polovine prošloga stoljeća - Varaždin 1821., Osijek 1827., Terezino polje 1872., Botovo 1873. te Donji Miholjac 1890. godine.

Nakon 1965. godine, temeljem međudržavnoga ugovora s Republikom Mađarskom, započelo se i sa zajedničkim prikupljanjem hidrografskih i hidroloških podataka te izgradnjom regulacijskih građevina. U tom vremenu najveća je aktivnost bila usmje-

rena na zaštitu od poplava, zbog učestale pojave velikih voda u razdoblju od 1965.-1972. godine.

Sustavna hidrološka mjerenja započeta su mjerenjima vodostaja i protoka, a tek šezdesetih godina počinje se i s mjerenjima pronosa nanosa. Mjerenja i istraživanja pronosa nanosa u rijeci Dravi temelje se na potrebi koju nameće dinamičko održavanje i gospodarenje vodotokom. Utjecaj koji pronos nanosa vrši na vodotok dosad je uglavnom zanemarivan, unatoč mogućnosti neprijatnih posljedica. Vjerojatan su razlog tome skupa i kompleksna mjerenja, kao i vrlo spor, ali kontinuiran proces koji se odvija u koritu. Stoga je ovaj rad prilog još jednom od pokušaja ukazivanja na važnost proučavanja pronosa nanosa rijeke Drave u daljnjem gospodarenju vodama.

2. Izgradnja akumulacija

U cilju višenamjenskoga korištenja rijeke Drave izgrađen je veći broj akumulacija. U početku, gradile su se uglavnom u gornjem toku u Austriji i Sloveniji, tek sedamdesetih godina počela je izgradnja akumulacija i u Republici Hrvatskoj. Na rijeci Dravi do danas su izgrađene dvadeset i tri akumulacije, od toga na području Austrije dvanaest, u Sloveniji osam, a u Republici Hrvatskoj tri. Izgrađenim akumulacijama iskorištava se hidropotencijal rijeke Drave, ali i zaustavlja pronos nanosa.

U navedenim akumulacijama taloži se vučeni i dio suspendiranog nanosa, što umanjuje korisnu zapreminu, a time ujedno i vijek trajanja samog objekta. Iz tog se razloga dio nataložena nanosa nastoji propuštati u riječni tok (uglavnom putem temeljnih ispusta), ali ne da bi se popravio narušeni odnos količine nanosa u toku, već da bi se što duže očuvao korisni volumen izgrađene akumulacije.

U ovisnosti o brzini i protoci, kao i nagibu te vrsti osnovne podloge, vodeni tokovi pronose određene količine nanosa koji zadovoljavaju ravnotežno stanje. To znači da svaka promjena, izazvana prirodno ili umjetno, utječe na narušavanje ravnotežnoga stanja u vodotoku. U slučaju nagloga prekida ili smanjenja prirodnoga pronosa nanosa, vodotok nastoji postići ravnotežno stanje erodirajući svoje korito i obale.

Gotovo isti efekt nastaje zbog pretjerane eksploatacije šljunka ili pijeska iz vodotoka, gdje radi narušavanja prirodnoga pada i ravnotežnoga stanja dolazi do taloženja materijala na lokaciji eksploatacijskog polja, a nizvodno do erozije korita i obala. Posljedice su pretjerane eksploatacije šljunka ili pijeska vidljive nizvodno od eksploatacijskih polja, ali tek dugoročno.

3. Mjerenja nanosa u rijeci Dravi

Za istraživanje utjecaja izgrađenih akumulacija na pronos nanosa i morfologiju rijeke Drave, uzeta su mjerenja suspendirana (lebdećega) nanosa. Mjerenja vučenoga nanosa provodila su se povremeno na lokacijama Donje Dubrave, Botova, Novog Virja i Dravasabolca, započela su 1969. godine i u potpunosti su obustavljena 1986. godine.

Nažalost, u današnje vrijeme nisu nastavljena mjerenja ni na jednoj lokaciji. Time je prekinut lanac vrlo oskudnih, ali ipak značajnih opažanja koja su stvarala određenu sliku o pronosu vučenoga nanosa u vodotoku.

Iz tog razloga za istraživanje utjecaja izgrađenih višenamjenskih objekata uzeta su svakodnevna mjerenja suspendirana nanosa koja se provode od 1960-1982. godine na profilu Varaždin, a od 1966., odnosno 1967. godine do danas na profilima Botova i Donjeg Miholjca.

U profilu Donja Dubrava u razdoblju od 1986. - 1990. godine vršila su se također svakodnevna mjerenja suspendiranog nanosa, no ona su obustavljena, iako su trebala pružiti dragocjene informacije o pronosu nanosa rijeke Drave prije ušća rijeke Mure i doprinosu Mure u bilanci nanosa.

Velika je šteta što dosad ne postoje kontinuirana svakodnevna mjerenja pronosa suspendiranoga nanosa u rijeci Muri, koja kao najveća pritoka Drave donosi velike količine nanosa. Tek 1991. godine uspostavljena su mjerenja suspendiranog nanosa u rijeci Muri na profilu Letina, koja se od tada vrše kontinuirano.

Istodobno na lokaciji Terezina polja u drugoj polovici 1990. godine započinje se sa svakodnevnim mjerenjima suspendiranog nanosa, što je važan doprinos u cilju ukupnoga sagledavanja i proučavanja pronosa nanosa. Dio vodotoka od Botova do Donjeg Miholjca čini 150 km vodnog toka koji dosad nije bio pokriven mjerenjima. Osim toga, na tom području intenzivno se eksploatira šljunak, a u planu je i izgradnja uzvodnih vodnih stuba VS Botovo i Novo Virje, te VS Barč na samome profilu, što mjerenja pronosa nanosa na toj lokaciji čini osobito vrijednima.

U današnje vrijeme pronos suspendiranoga nanosa svakodnevno se mjeri na tri lokacije otvorenoga toka rijeke Drave u Botovu, Terezinu polju i Donjem Miholjcu, ujedno se na navedenim lokacijama povremeno protočnim batometrima (5-6 puta godišnje) uzimaju uzorci profilskih mjerenja suspendiranog nanosa na pojedinim vertikalama u tri točke: površina, sredina i dno. Laboratorijskom obradom skupnoga uzorka s vertikale, dobivaju se srednje koncentracije suspendiranog nanosa po pojedinoj vertikali, a na temelju se izmjerenih brzina vode i protoke dobivaju srednje profilne koncentracije i sekundni pronosi suspendiranog nanosa koji daju bolju sliku o pronosu nanosa po profilu. Sva hidrološka mjerenja na navedenim profilima vrši DHMZ-Zagreb.

Svakodnevna mjerenja obavljaju se neposrednim zahvaćanjem vode posudom. Imaju niz nepreciznosti, ali zbog dugotrajnoga razdoblja opažanja i jednostavnijega načina rada imaju svoju prednost. Ta mjerenja brzo se obavljaju, ne ovise o vremenskim prilikama i zahtijevaju minimalan broj ljudi i utrošak sredstava. Nepreciznosti se u prvome redu odnose na probleme vezane uz stohastiku pronosa suspendiranoga nanosa na mjestu uzimanja uzorka, budući da se uzorak uzima samo u jednoj točki na profilu, a nisu isključeni ni znatni utjecaji ljudskog faktora.

Ipak, u cjelini gledano, jednostavnost i minimalan utrošak sredstava u današnje vrijeme imaju znatne prednosti pred drugim načinima mjerenja, a dugotrajni nizovi podataka čine ih ipak pogodnim za ovakva istraživanja.

4. Utjecaj izgrađenih hidroelektrana i vodnih stuba

Proučavanje je morfoloških promjena u koritu vezano uz potrebna hidrološka mjerenja, u prvome redu vodostaja i protoke. Iz tog razloga, na promatranim se mjernim profilima Botova i Donjeg Miholjca uočila razlika u trendovima vodostaja i protoke. Trend opadanja vodostaja izraženiji je od trenda opadanja protoke (D.7. - D.10.), što može ukazati na činjenicu produbljivanja korita zbog erozije.

U nastavku se daje prikaz godišnjih pronosa nanosa i kumulativne krivulje pronosa suspendiranoga nanosa za stanice Varaždin, Botovo i Donji Miholjac, za raspoložive nizove mjerenja (dijagrami D.1. - D.6.). Na navedenim dijagramima primjetan je trend opadanja pronosa nanosa po godinama. Usporedbom pronosa nanosa prije i nakon izgradnje određene akumulacije vidljivi su poremećaji u pronosu nanosa što su nastupili neposredno nakon izgradnje i puštanja u rad navedenih hidroelektrana,

odnosno vodnih stuba. Analizom kumulativnih krivulja pronosa nanosa primjetni su lomovi, odnosno trendovi značajna smanjenja pronosa nanosa. Potrebno je pripomenuti da se mjerni profil Donji Miholjac nalazi 165 km nizvodno od posljednje izgrađene vodne stuba (VS Dubrava), a da su primjetne znatne promjene u pronosu nanosa.

5. Zaključak

Današnje vrijeme donijelo je nove probleme i zahtjeve za cjelovitim i sveobuhvatnim gospodarenjem vodnim resursima. Zbog brojnih radova u vodotoku i na cijelom slivu, problemi obrana od poplava trenutno su manje prisutni, ali se zato postavljaju novi zahtjevi pri gospodarenju vodotocima. Ti se zahtjevi svode na kompleksno, kvalitetnije i dugoročnije upravljanje vodotokom nego dosad. Problemi kvalitete voda i morfologije toka sve više dobivaju na važnosti.

Današnje vrijeme izgradnje vodnih stepenica i reguliranja rijeke Drave samo zaostavljaju to pitanje. Za cjelovito analiziranje morfologije rijeke Drave od bitne je važnosti definirati i pronos nanosa, što je dosad uglavnom bilo zanemarivano.

Analiza sadašnjega stanja mjerenja suspendiranog nanosa govori o određenom napretku, ali i potrebi daljnje dogradnje sustava mjerenja nanosa, što prvenstveno podrazumijeva nastavak mjerenja i proučavanja vučenoga nanosa koji je trenutno zanemaren. Osim toga, sustav bi se trebalo unaprijediti uspostavom novih mjernih stanica i većom kvalitetom mjerenja.

Istodobno, potrebno je na cijelom području rijeke Drave uspostaviti čvrste profile na kojima se trebaju provoditi kontinuirana snimanja poprečnih profila te hidrauličkih i hidroloških parametara s ciljem stvaranja pretpostavki za izradu matematskoga modela koji bi pomogao pri istraživanju ove pojave i ostalih problema vezanih uz izgradnju regulacijskih objekata i vodnih stuba, a omogućile bi se i spoznaje o vezi površinskih voda rijeke Drave i podzemnih voda u zaobalju.

Osobito je važno naglasiti da će gradnja planiranih VS Botovo i VS Novo Virje gotovo u potpunosti prekinuti prirodan pronos nanosa koji dopijeva u Dravu iz Mure. S obzirom na velike količine nanosa koje pronosi Mura u uvjetima gotovo potpuno zaustavljena pronosa dravskoga nanosa, izgradnja navedenih vodnih stuba uvjetovat će u nizvodnome dijelu toka još izraženije procese erozije i urezivanja u vlastito korito od dosadašnjih.

Utjecaj izgrađenih višenamjenskih objekata i narušavanje ravnotežnoga stanja pronosa nanosa, uz izgradnju uzvodnih vodnih stuba, imat će za posljedicu još izraženije trendove sniženja vodostaja (D.7. i D.9.), odnosno urezivanja vodotoka u korito što će utjecati i na stabilnost postojećih regulacijskih građevina u vodotoku. Nesporna hidraulička veza vodotoka i zaobalja u uvjetima urezivanja korita i propusnih slojeva imat će za posljedicu sniženja razine podzemnih voda na širem području što je također potrebno razmotriti.

I današnja eksploatacija nanosa iz vodotoka (šljunka i pijeska) doprinosi pojavi erozije i urezivanja korita, budući da se odvija u uvjetima narušena ravnotežnoga stanja pronosa nanosa na dijelu vodotoka nizvodno od izgrađenih vodnih stuba.

Osobito je važno istaći izgradnju planiranih vodnih stuba uzvodno, u uvjetima neizgrađenih nizvodnih vodnih stuba VS Barč, VS Donji Miholjac i VS Osijek. Moguće promjene koje treba očekivati vjerojatno bi bile manje izražene u slučaju izgrađenih nizvodnih vodnih stuba, odnosno realizacije ukupnoga višenamjenskog sustava. Stoga bi redosljed izgradnje vodnih stuba trebao biti multidisciplinarni rad u kojem bi

ključnu ulogu trebao imati cjelovit hidrotehnički pristup gospodarenju vodom rijeke Drave jer bi se na taj način moglo značajnije utjecati na morfološke promjene.

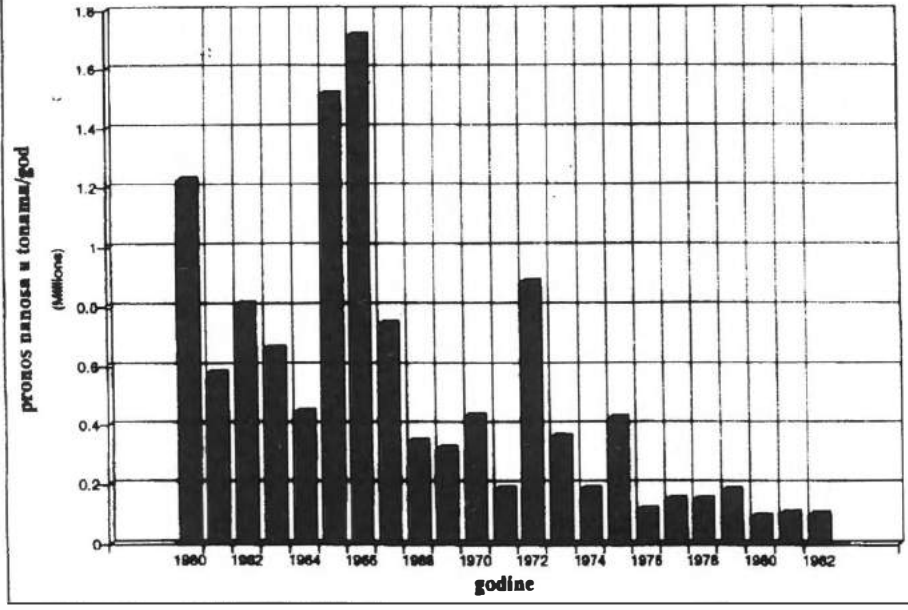
Sva istraživanja i podaci prikupljeni u tu svrhu bit će od velike, bitne pa čak i presudne važnosti za buduće cjelovito i kompleksno uređenje rijeke Drave i ukupnoga dravskoga sliva u Republici Hrvatskoj.

Literatura

1. "Banka hidroloških podataka" Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske, Centar za hidrološka mjerenja i istraživanja, Zagreb
2. "Program Drava", VRO "DRAVA-DUNAV" Osijek, Elektroslavonija Osijek, Elektroprivreda Zagreb, Osijek 1985. i 1988. godine
3. Srebrenović Dionis, "Informacije o vodoprivrednoj problematici sliva Drave" Direkcija za Savu, Zagreb 1974. godine
4. Tadić, Zdenko - Đuroković Zoran, " Studija nanosa rijeke Drave u Republici Hrvatskoj", VRO "DRAVA-DUNAV", Osijek 1990.
5. "Vodoprivredna osnova za vodno područje Drave i Dunava u Republici Hrvatskoj" VRO "DRAVA-DUNAV", Osijek 1986.

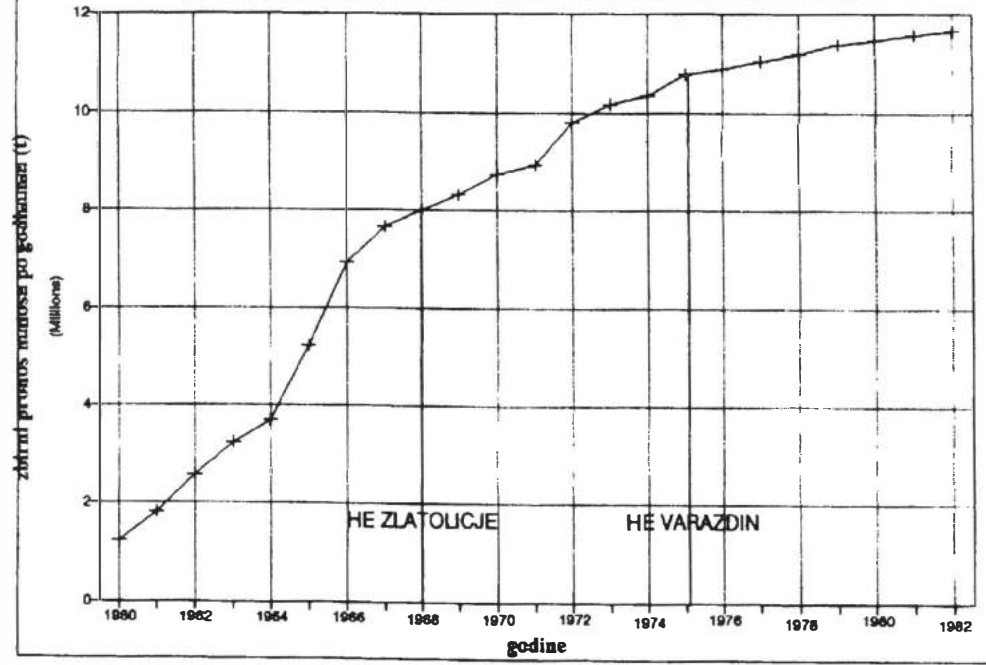
**PRONOS SUSPENDIRANOG NANOSA
VARAZDIN 1960-1982**

D.1.



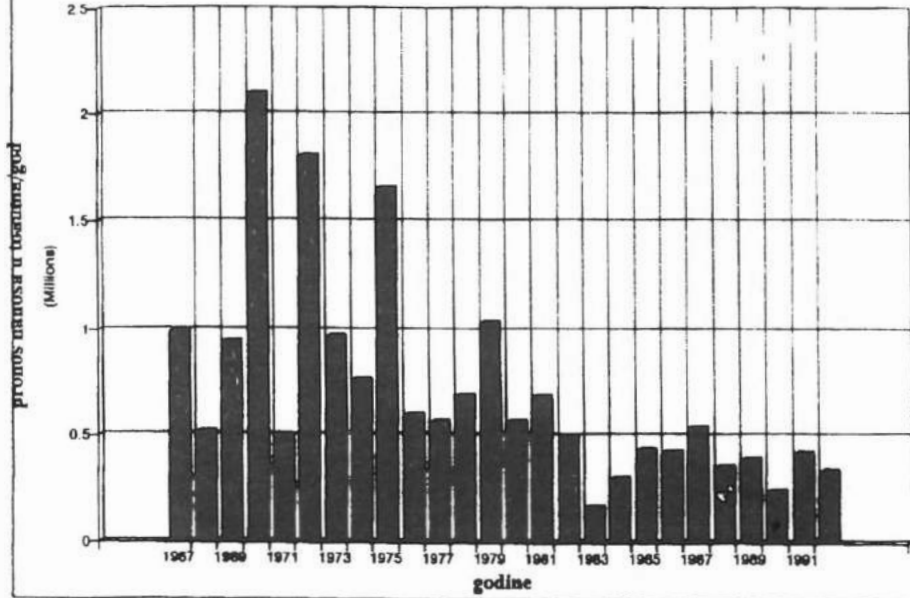
**KUMULATIVNA KRIVULJA NANOSA
VARAZDIN 1960-1982**

D.2.



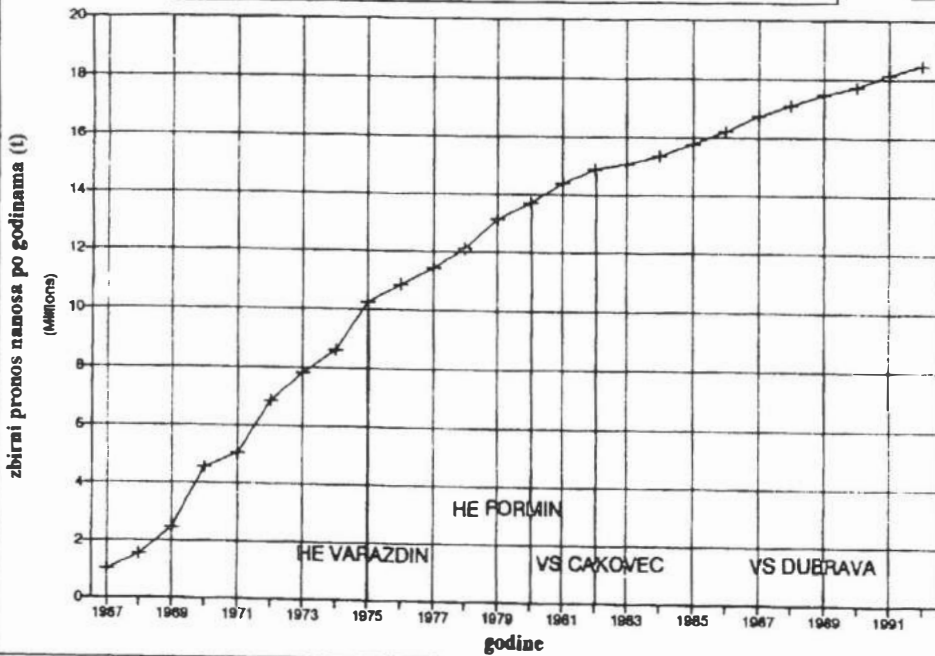
**PRONOS SUSPENDIRANOG NANOSA
BOTOVO 1967-1992**

D.3.



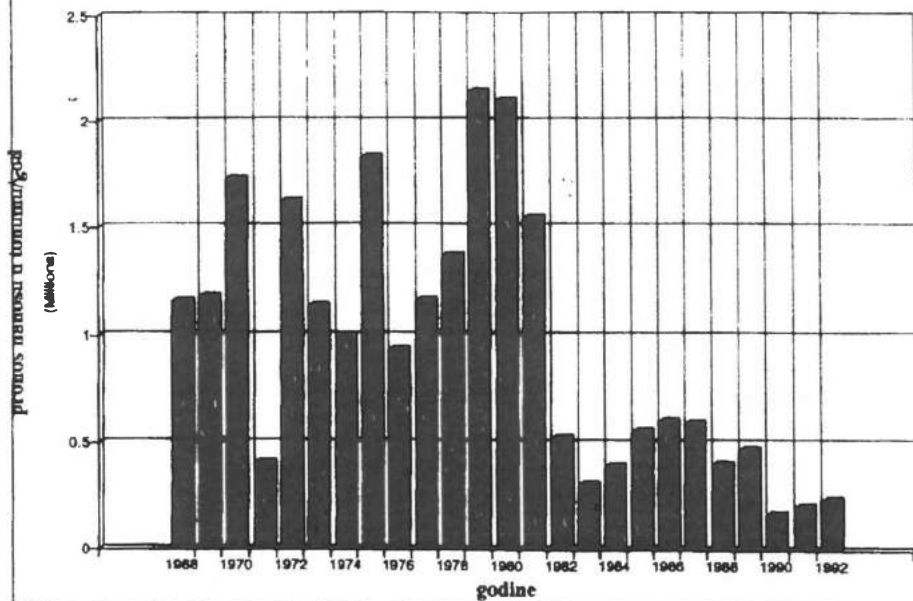
**KUMULATIVNA KRIVULJA NANOSA
BOTOVO 1967-1992**

D.4.



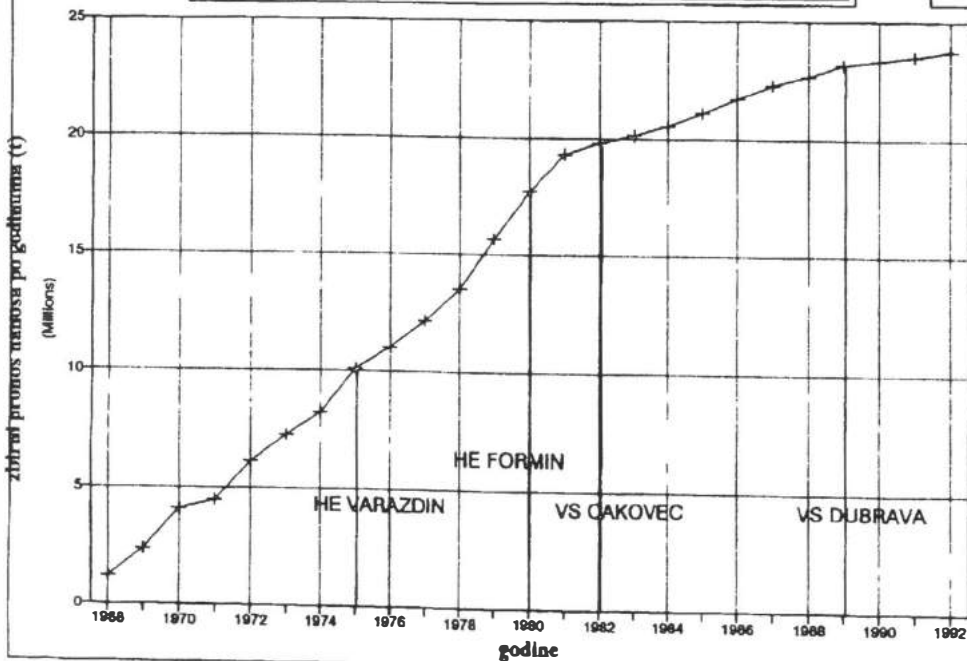
**PRONOS SUSPENDIRANOG NANOSA
DONJI MIHOLJAC 1968-1992**

D.5.



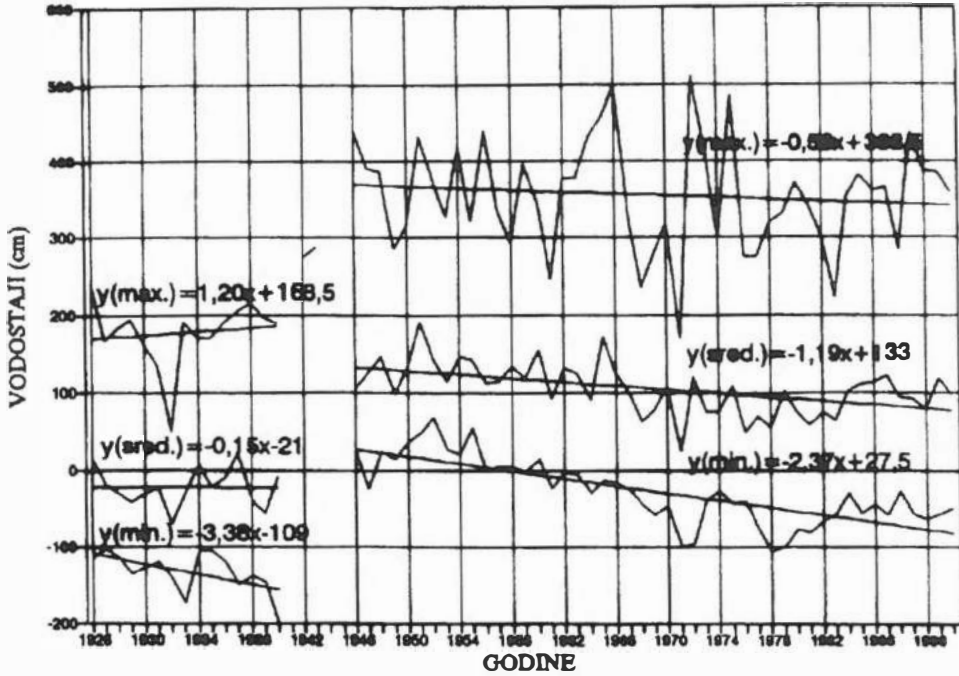
**KUMULATIVNA KRIVULJA NANOSA
DONJI MIHOLJAC 1968-1992**

D.6.



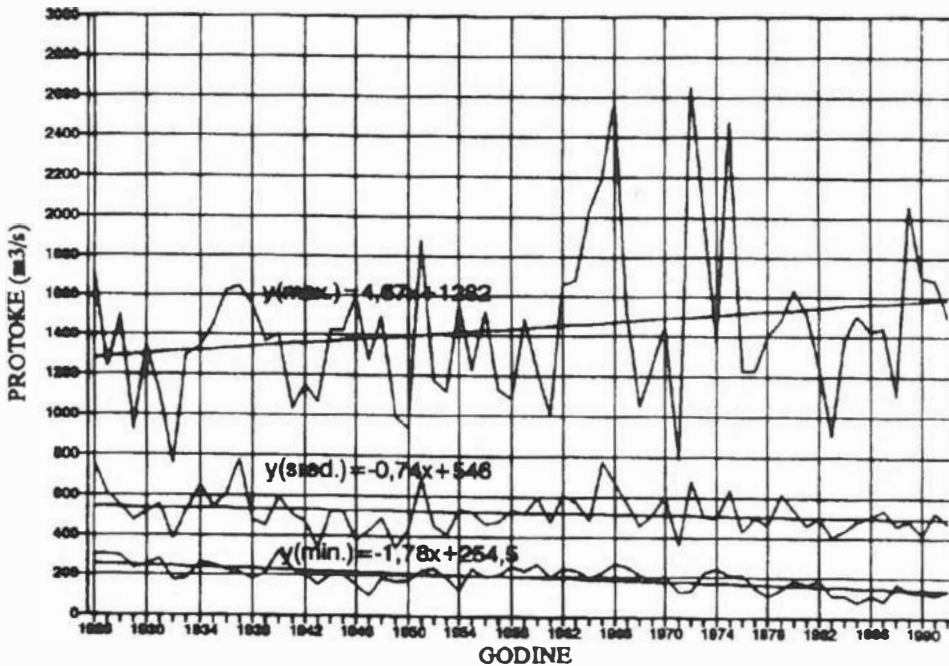
MAKSIMALNI, SREDNJI, MINIMALNI VODOSTAJI
 DRAVA-BOTOVO 1926-1992

D.7.



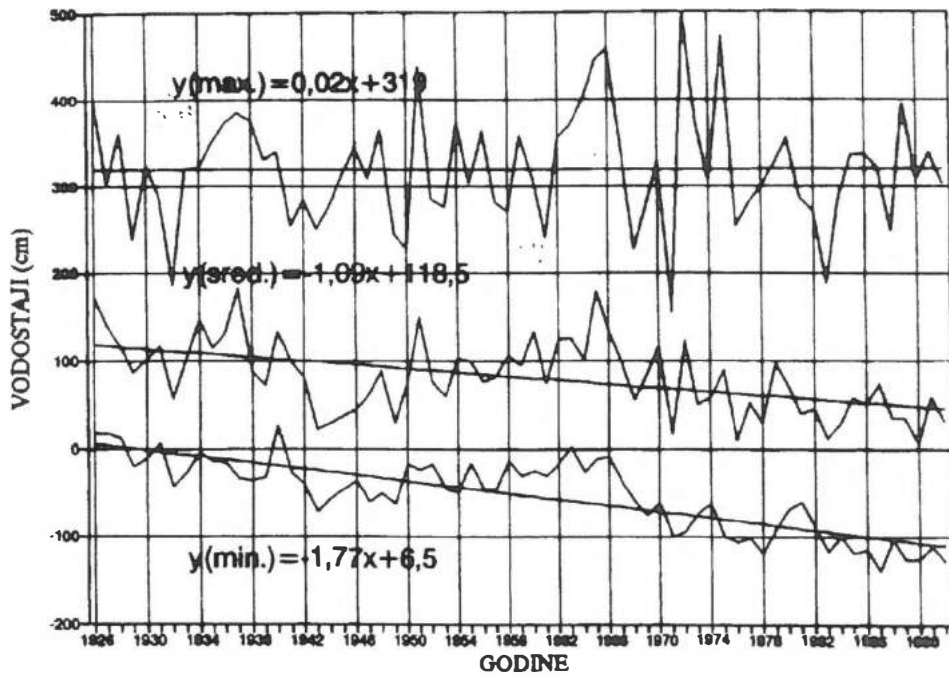
MAKSIMALNE, SREDNJE, MINIMALNE PROTOKE
 DRAVA-BOTOVO 1926-1992

D.8.



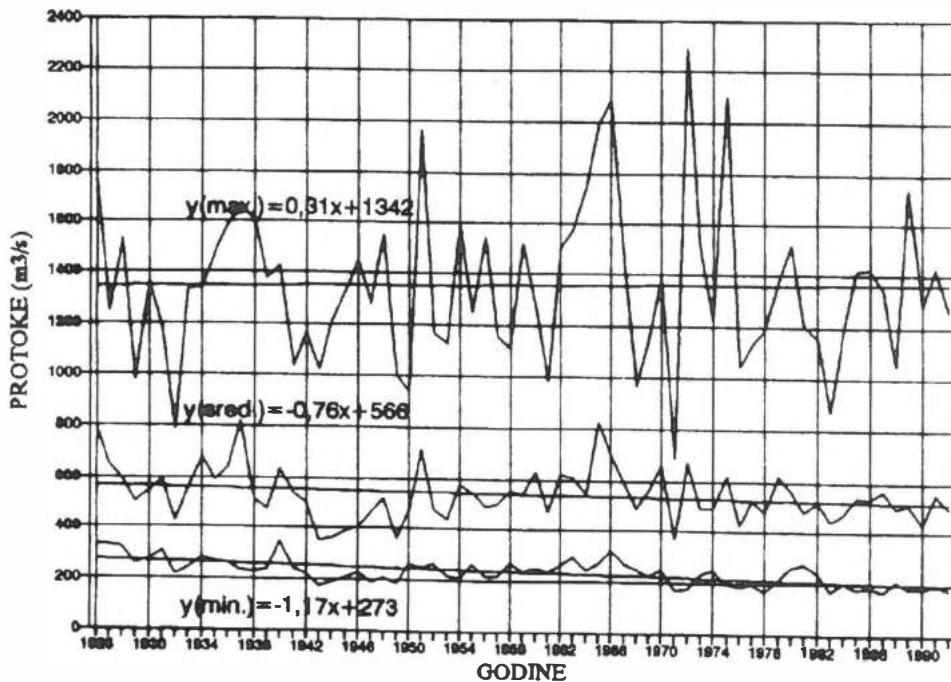
**MAKSIMALNI, MINIMALNI, SREDNJI VODOSTAJI
DRAVA-DONJI MIHOLJAC 1926-1992**

D.9.



**MAKSIMALNE, SREDNJE, MINIMALNE PROTOKE
DRAVA-DONJI MIHOLJAC 1926-1992**

D.10.





1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Husno Hrelja

R 6-10

Uloga akumulacija u vodoprivrednom razvoju Bosne i Hercegovine

SAŽETAK: *Vremenska i prostorna neujednačenost prirodno raspoloživih voda, kao i njihova prostorna neusklađenost s potrebama ozbiljan su problem društvenoga i ekonomskoga razvoja. Neophodan stupanj vremenskog izravnjanja voda može se postići izgradnjom akumulacija, dok se prostorna preraspodjela vodnih resursa može realizirati transportom voda iz jednoga područja u drugo, pri čemu je skoro po pravilu, neophodna izgradnja akumulacija na mjestu zahvaćanja. U radu su opisani raznovrsni aspekti vezani za ulogu i značaj izgradnje akumulacija za uređenje vodnoga režima. Nadalje, dan je kratak prikaz ključnih problema vezanih uz planiranje, izgradnju i pogon akumulacija. Također su naznačeni osnovni preduvjeti koji omogućavaju uspješno rješavanje navedenih problema.*

KLJUČNE RIJEČI: *vodoprivreda, vodni resursi, akumulacije, izravnjanje voda, uređenje vodnog režima, planiranje*

Role of Reservoirs in the Bosnia and Herzegovina Water Resources Development

ABSTRACT: *The lack of homogenous time and space distribution of the water resources available in nature, and their spatial disharmony with the needs, poses a serious problem in social and economic development. The necessary level of the time-related water balance can be achieved by construction of reservoirs, while the spatial redistribution of the water resources can be achieved by transportation of water from one area into another where, almost as a rule, the reservoir needs to be constructed in the water intake site. The paper describes various aspects of the reservoir construction role and its significance in the water regime control. Further, the brief description of the key problems related to planning, construction and operation of reservoirs is given. Also, the basic preconditions for successful solution of the said problems are depicted.*

KEY WORDS: *water resources, water resources management, reservoir, water balance, water regime control, planning*

Uvodne napomene

Uz ukupno raspoložive vode, što se kao prosječne količine javljaju na neke razmatranom području, veoma je bitna karakteristika vodnoga režima prostorna i vremenska raspodjela pojave i otjecanja voda. Takva su obilježja uvjetovana raznovrsnim prirodnim faktorima i karakteristikama. Dominantnu ulogu među uzročnim faktorima otjecanja igraju:

- klimatske karakteristike područja (temperature, padaline, isparavanje),
- morfološke odlike (veličina i oblik sliva, pad terena);
- hidrogeološke osobnosti (geološka građa, poroznost i vodopropusnost tla).

Sve su navedene karakteristike na području Bosne i Hercegovine veoma raznorodne kako u vremenu tako i u prostoru. Bez detaljnog ulaženja u kvantifikaciju te raznorodnosti, na ovome se mjestu veoma globalno konstatiraju najelementarnije činjenice vezane uz navedene faktore, kao što su:

- sjeverna i sjeveroistočna područja Republike godišnje u prosjeku dobivaju 50% ili čak manje padalina nego njezini južni dijelovi;
- padavine u sjevernim dijelovima tokom godine nešto su ravnomjernije s tendencijom da se njihov veći dio javlja u proljetnim i ljetnjim mjesecima, upravo onda kad je isparavanje najintenzivnije;
- morfološke i hidrogeološke odlike terena bitno se mijenjaju, što se značajno reflektira na akumulacijske i transportne mogućnosti tla, tako da postoje velike razlike između sjevernoga (ravničarskoga do brdovitoga) i južnoga (planinskoga i kršovitoga) područja.

Navedeni faktori izazivaju vremensku i prostornu neravnomjernost vodnoga režima što nadalje, u velikoj mjeri uvjetuje način i efikasnost korištenja vodnih resursa. Pored tih prirodnih karakteristika, razvoj i korištenje vodnih resursa diktirani su i potrebom za vodom, odnosno stupnjem njezina zagađenja. Evidentno je da je Bosna i Hercegovina također veoma heterogena i u tom pogledu. Naime, demografske prilike i razmještaj prirodnih kapaciteta je, globalno gledano, asinhron s raspoloživim prosječnim vodnim resursima o čemu će detaljnije biti govora u poglavljima koja slijede. Efikasno i racionalno korištenje vodnih resursa nameće potrebu da se umjetnim mjerama i aktivnostima utječe na preraspodjelu voda kako bi se njihova raspoloživost što više uskladila s prostornom i vremenskom raspodjelom potreba. Te se mjere ogledaju u uređenju vodnoga režima. Pritom se pod njima podrazumijevaju uglavnom dvije vrste mjera:

1. akumuliranje voda čime se postiže vremenska preraspodjela;
2. transport voda iz područja gdje su količine vode veće od potreba u područja gdje su izraženi deficiti, što je u biti prostorna preraspodjela resursa. Ta mjera često se koristi u kombinaciji s akumuliranjem voda.

Navedene mjere po svojem su karakteru veoma kompleksne i skupe, pa zbog toga zahtijevaju veoma složene postupke i procedure vezane za izučavanje, planiranje, realizaciju i pogon objekata i sistema kojima se vrši uređenje vodnoga režima.

Osvrt na vremensku neravnomjernost voda

Vremenska neravnomjernost protjecaja očituje se kako unutar godine, tako i u višegodišnjem smislu. Unutargodišnja neravnomjernost veoma je očigledna na bazi uporedbe višegodišnjih prosjeka srednjomjesečnih protjecaja (tablica 1).

Iako različiti vodotoci pokazuju donekle različitu sliku unutargodišnjega kolebanja, ipak se iz tablice 1 može generalno zaključiti da višegodišnji prosjek srednjomjesečnih

protjecaja tokom ljetnjih mjeseci pada na samo 30 - 40% u odnosu na prosječne godišnje vrijednosti protoka. Posljedica te činjenice svodi se na to da tokom tri najsušnija mjeseca (juli - septembar) masa vode koja protječe koritom glavnih vodotoka iznosi samo 9 - 14% od ukupne prosječne godišnje mase. S druge strane, prosječno najvodniji mjeseci u prosjeku imaju za oko 50 - 60% veće protjecaje od srednjih godišnjih vrijednosti, tako da u tri najvodnija mjeseca s glavnih slivova otiče 34 - 39% vodne mase iz prosječne godine.

Tablica 1. Odnos višegodišnjega prosjeka srednjih mjesečnih protjecaja prema godišnjem protjecaju

VODOTOK	MJESEC											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NERETVA	1.2	1.2	1.3	1.5	1.3	0.7	0.4	0.3	0.4	0.8	1.4	1.5
DRINA	1.0	1.0	1.4	1.7	1.6	1.0	0.6	0.3	0.4	0.7	1.0	1.2
BOSNA	1.1	1.5	1.6	1.6	1.3	1.0	0.6	0.4	0.4	0.5	0.8	1.2
VRBAS	1.1	1.2	1.4	1.5	1.3	1.0	0.7	0.5	0.5	0.7	1.0	1.2
UNA	1.1	1.2	1.4	1.5	1.2	1.0	0.6	0.4	0.4	0.8	1.3	1.3

Navedeni prikaz sam po sebi ne može pružiti kompletnu sliku vremenske neravnomjernosti, jer ne uzima u obzir fluktuacije prosječnih godišnjih protjecaja. U cilju da se ta pojava dodatno prikaže, može se navesti niz ilustrativnih pokazatelja:

- Oko 15% godina imaju prosječne protoke manje od 80% prosječnoga višegodišnjeg protjecaja, a isto toliko godina ima prosječne protoke veće nego što je prosječni višegodišnji protjecaj uvećan za 20%;
- Minimalni srednjomjesečni protjecaji koji se javljaju jednom u 20 godina padaju na samo 10 - 12% od prosječnoga godišnjeg protjecaja. Uz tu konstataciju treba imati u vidu da su zahtjevi za vodom obično najveći u tim razdobljima, te da, prema uobičajenoj praksi razvijenih zemalja, u tako sušnim periodima, nije dopušteno zahvaćanje značajnijih količina vode jer bi se time ugrozio biološki sistem vodotoka;
- maksimalni protjecaji na glavnim vodotocima mogu nadići prosječni godišnji protjecaj za 10 - 50 puta, dok na manjim vodotocima taj odnos može biti daleko nepovoljniji.

Neravnomjeran raspored voda u vremenu i prostoru posebno je karakterističan za područje krša. Pored relativno velikih padavina, mreža vodotoka slabo je razvijena tako da na vrlo velikim prostorima nema ni najmanjih povremenih tokova. U dugačkom ljetnjem periodu otjecanje je vrlo malo, praktično simbolično, a mnogi vodotoci i presuše. Kod nekih kraških polja i preko 90% ukupnog otjecaja obavi se u nekoliko zimskih mjeseci.

Ako se uzmu u obzir prije navedeni pokazatelji i vremenske neravnomjernosti voda na teritoriju Republike, može se zaključiti da se ocjena njezinog vodnoga bogatstva ne može zasnivati na prosječnim vrijednostima na čitavom teritoriju.

Uz vremensku neravnomjernost, treba imati u vidu i da su zahtjevi za vodom neravnomjerni, i uopće su veći tamo gdje su raspoložive količine vode manje. Usto, 50% voda zbog svojih kvalitativnih karakteristika, nije upotrebljivo za piće i druge nam-

jene koje podrazumijevaju sličan kvalitetni nivo. Ovo još jednom ukazuje na potrebu njihova osiguranja vremenskom i prostornom preraspodjelom.

Uloga akumulacija u vodoprivredi BiH i stanje izgrađenosti

Neki vidovi iskorištenja voda traže ujednačeniji protjecaj nego onaj koji se javlja u neravnomjernome prirodnom režimu. Drugi vidovi opet traže relativno velike količine vode u kraćim periodima baš kad su prirodni protjecaji niski. U takvim uvjetima nameće se potreba vremenske preraspodjele. To se jedino može postići izgradnjom akumulacija uzduž pojedinih tokova. Drugim riječima, ne postoji ni tehnička ni ekonomska alternativa kojom bi u potrebnom obimu bilo moguće zamijeniti ulogu i efekte akumulacija u zadovoljavanju svih korisnika.

Uloga akumulacija je različita: osiguranje vode za opskrbu stanovništva, privrede, za navodnjavanje, za povećanje minimalnih protjecaja, a u svrhu razblaženja otpadnih voda, za obranu od poplava te plovidbu, proizvodnju električne energije, rekreaciju itd.

U budućnosti, odnosno u suvremenoj vodoprivredi posebno će značajno mjesto zauzimati tzv. višenamjenske akumulacije koje služe za potrebe dvije ili više gore navedenih namjena. One su zapravo ključni elementi svih značajnijih vodoprivrednih sistema, posebno onih višenamjenskoga karaktera kojima se po pravilu vrši vremenska i prostorna preraspodjela, odnosno izravnjanje voda.

U Bosni i Hercegovini dosad je izgrađeno ukupno 29 akumulacija, od čega u jadranskom slivu ima 17, a u crnomorskom 12. Ukupna je korisna zapremina izgrađenih akumulacija 3.260 hm³, i one potapaju površinu od 19.400 ha (tablica 2).

Zanimljivo je pomenuti da je prva akumulacija u Republici izgrađena za vrijeme austrougarske vladavine, 1897. godine i koja je još i danas u pogonu. Riječ je o akumulaciji Klinje na rijeci Mušnici. Iz tablice 2 proizilazi da se 80% ukupne zapremine nalazi na području jadranskoga sliva. Više od polovine svih akumulacija (18) izgrađeno je u okviru hidroenergetskih sistema, a na njih otpada 95% ukupne zapremine svih akumulacija u BiH. Samo akumulacija Bileća u odnosu na jadranski sliv ima 40% zapremine, odnosno 34% u odnosu na zapremine svih akumulacija u BiH. Uprkos dominantnim hidroenergetskim namjenama, mnoge akumulacije (a posebno najveće na Trebišnjici, Neretvi i Cetini) imaju višenamjenski karakter (smanjenje poplava, osiguranje voda za stanovništvo, industriju i navodnjavanje, povećanje minimalnih protjecaja).

Tablica 2. Karakteristični pokazatelji izgrađenih akumulacija na teritoriji Bosne i Hercegovine

POKAZATELJ	CRNOMORSKI SLIV	JADRANSKI SLIV	BIH
BROJ AKUMULACIJA	12	17	29
UKUPNA ZAPREMINA (hm ³)	775	3075	3850
KORISNA ZAPREMINA (hm ³)	509	2785	3266
MAKSIMALNA POVRŠINA (ha)	5550	13850	19400
MAKSIMALNA DUBINA (m)	12-78	4-104	4-104
PROCJENA IZRAVNANJA (%)	2	18	9

Od tzv. neenergetskih akumulacija najznačajnija je Modrac na rijeci Spreči s zapreminom od 88 hm^3 , s osnovnom namjenom da osigurava industrijsku vodu za tuzlanski bazen i da, u izvjesnoj mjeri, razblaži otpadne vode.

Kao osnovni indikator izgrađenosti akumulacija može poslužiti pokazatelj stupnja izravnjanja voda. Uvriježeno je mišljenje da stupanj izravnjanja za zadovoljenje potencijalnih društvenih potreba treba dostignuti vrijednosti od oko 30%. U svjetlu te konstatacije postignuti stupanj od 9% za čitavu BiH očigledno je veoma nizak. Stanje u crnomorskome slivu, odnosno slivu rijeke Save, u tom je pogledu još nepovoljnije. Iako je postotak izravnjanja od 18% za jadranski sliv u odnosu na crnomorski oko šest puta veći, premda u sadašnjoj situaciji zadovoljava značajan dio potreba, ni on ne dopušta potpuno korištenje vodnoga bogatstva koje se očekuje u budućnosti. Međutim, u gornjem slivnom dijelu Trebišnjice, Neretve, a dijelom i Cetine, postoje dobre perspektivne mogućnosti za povećanje stupnja izravnjanja. Nasuprot tome, u slivu Save situacija se može smatrati gotovo alarmantnom zbog sljedećih razloga (3):

- a) Veoma izražena postojeća višenamjenska prostorna angažiranost riječnih dolina, s tendencijom nastavka tih procesa što je posljedica
 - velike koncentracije stanovništva (oko 88% od ukupnoga stanovništva BiH);
 - značajni prirodni resursi, privredni kapaciteti i infrastrukturni objekti (rudarstvo, energetika, industrija, poljoprivreda, komunikacije itd.) locirani su na tim prostorima;
- b) relativno niska izdašnost prirodnih vodnih resursa u cijelini, a i prema njihovim specifičnim pokazateljima;
- c) odsustnost efikasnih ekonomsko-pravnih mehanizama za dugoročno planiranje i globalno usmjeravanje vodoprivrednog razvoja, što je dovelo do niza parcijalnih, umjesto optimalnih rješenja (zadovoljavanje potreba lokalnim resursima i njihovo iscrpljivanje, prekomjerna zagađenja pojedinih vodotoka, niska zainteresiranost elektroprivrede za izgradnju hidroelektrana na nekim glavnim pritokama rijeke Save i sl.).

Pored akumulacija treba spomenuti i prirodne retenzije (povremene akumulacije) koje takođe vrše izravnjanje vode. To su područja kraških polja i nebranjena područja uz rijeku Savu. Cijeni se da su prije realizacije odgovarajućih vodoprivrednih objekata u bosanskoj Posavini, Popovu polju i Livanjskom polju te retenzije dostizale maksimalnu zapreminu od 4.000 hm^3 . One su u nizvodnom toku rijeke Save i nižim kraškim horizontima vršile (ili vrše) znatno smanjenje maksimalnih protjecaja.

S obzirom da je dosad realiziran izrazito nizak stupanj izravnjanja režima voda, naročito u slivu rijeke Save, već odavno je uočena potreba izgradnje većega broja akumulacija u Republici. U tom cilju, u toku posljednja dva desetljeća, intenzivno su proučavane mogućnosti akumuliranja voda na pojedinim vodotocima. Ta proučavanja, uz analize vodnoga bilansa na pojedinim slivnim područjima, pokazala su da je u bliskoj budućnosti neophodna izgradnja većega broja akumulacija različitih namjena i raznih veličina, odnosno karakteristika.

Iako je za planski period do 2 020 godine /1/ predviđena izgradnja ukupno 35 akumulacija, od čega bi u slivu Jadranskog mora bilo 11 akumulacija, a crnomorskom slivu 24. Te akumulacije dostigle bi ukupnu korisnu zapreminu od $2 980 \text{ hm}^3$ (crnomorski sliv 1.985 hm^3 , jadranski sliv 995 hm^3) što je gotovo jednako zapremini dosad izgrađenih akumulacija od 3.260 hm^3 . One bi potapale površinu od 14.338 ha (tablica 3).

Iz tablice 3 proizilazi da bi za razliku od dosad izgrađenih akumulacija (80% na području jadranskog sliva), akcentat izgradnje u budućnosti bio u slivu rijeke Save s 57% ukupno planirane zapremine. Također za razliku od postojećega stanja (55% akumulacija je energetskega karaktera), 33% od planiranih akumulacija imaju više-

namjenski karakter, 28% ima dominantnu namjenu snabdijevanja vodom, a samo 19% ima dominantnu energetska namjenu.

Kad je riječ o stupnju izravnjanja koji bi se postigao planiranim akumulacijama, moguće je konstatirati da se on za čitavu BiH podiže s postignutih 9% na značajnih gotovo 20%. Popravljanje postotka izravnjanja za sliv rijeke Save izrazito je i iznosi približno 14% u odnosu na dosad postignuta 2%, a što je, imajući u vidu prethodno opisanu situaciju, u slivu rijeke Save i bila intencija vodoprivrednih planera.

Raspored planirane korisne zapremine i postotka izravnjanja za glavne slivove u Republici dati su u tablici 4. Iz tablice 4 vidi se da je najveći broj akumulacija (35%) planirano u slivu rijeke Bosne gdje bi se značajno povećao stupanj izravnjanja režima voda s oko 1% na gotovo 11%.

Njihova dominantna namjena (80% akumulacija) je vodosnabdijevanje. Najznačajnije povećanje postotka izravnjanja od 1% na 21% postiglo bi se u slivu rijeke Vrbas, s akumulacijama višenamjenskoga karaktera. Na rijekama Drini i Neretvi i dalje se planiraju akumulacije s dominantno energetska namjenom.

Tablica 3. Karakteristični pokazatelji planiranih akumulacija na teritoriju Bosne i Hercegovine

POKAZATELJ	CRNOMORSKI SLIV	JADRANSKI SLIV	BIH
BROJ AKUMULACIJA	24	11	35
UKUPNA ZAPREMINA (hm ³)	2325	1120	3445
KORISNA ZAPREMINA (hm ³)	1985	995	2980
MAKSIMALNA POVRŠINA (ha)	10071	4267	14338
MAKSIMALNA DUBINA (m)	12-78	4-104	4-104
POSTOTAK IZRAVNANJA BEZ IZGRAĐENIH AKUMULACIJA	10.2	7.4	9.1
PROCJENA IZRAVNANJA S IZGRAĐENIM AKUMULACIJAMA	13.7	27.7	19.3

Tablica 4. Karakteristični pokazatelji planiranih akumulacija za slivne površine glavnih vodotoka

POKAZATELJ	VRBAS	BOSNA	DRINA	NERETVA
BROJ AKUMULACIJA	7	12	2	5
UKUPNA ZAPREMINA (hm ³)	805	492	1000	810
KORISNA ZAPREMINA (hm ³)	694	417	783	700
MAKSIMALNA POVRŠINA (ha)	3078	3625	2752	2449
POSTOTAK IZRAVNANJA BEZ IZGRAĐENIH AKUMULACIJA	1.1	1.5	7.1	0.2
PROCJENA IZRAVNANJA S IZGRAĐENIM AKUMULACIJAMA	21.1	10.8	28.0	18.4

Ključna pitanja u realizaciji budućih akumulacija

Broj lokaliteta za izgradnju akumulacija ograničen je i po pravilu vremenom biva sve manji. Ograničenje broja, kao i permanentan pad atraktivnosti tih lokaliteta uvjetovani su nizom elemenata, među kojima su najvažniji:

- prirodni uvjeti za formiranje akumulacija (topografski, geološki i hidrološki);
- utjecaji akumulacije na okruženje (ekološki, socijalno-ekonomski, privredni i drugi);
- stanje i planovi drugih oblika korištenja prostora planiranih za gradnju akumulacija;
- investicijsko-tehničke i ekonomske karakteristike akumulacije i pripadajućih objekata.

Treba posebno istaći da se akumulacije neće moći realizirati u budućnosti ako se već sad, planskim mjerama, prostori za njihovu izgradnju ne zaštite od "upada" urbanih, prometnih i privrednih sistema. Drugi je isto tako važan činilac osiguranje zaštite kvaliteta voda u akumulacijama.

S obzirom na to da su se problemi izgradnje brana i realizacije akumulacija kod nas i dosad uspješno rješavali, ni u budućnosti se ne očekuju značajnije poteškoće tehničke prirode. Međutim, ključni problemi realizacije planiranih akumulacija javljat će se izvan tehničke sfere. Oni bi se mogli svrstati u nekoliko sljedećih najvažnijih grupa:

- zaštita planiranih lokaliteta od intenzivnoga naseljavanja, odnosno od angažiranja tih prostora za druge namjene;
- različiti oblici opozicije i onemogućavanja realizacije neophodnih radova na lokacijama potencijalnih akumulacija;
- uspostavljanje pravnih i ekonomskih mehanizama za uspostavljanje i postojanje dugoročnih planskih opredjeljenja u razvoju vodnih resursa;

Zbog navedenoga se na mnogim lokalitetima intenzivno smanjuju mogućnosti izgradnje akumulacija, a negdje su ti lokaliteti, danas već praktično izgubljeni. Olakšavajuće su okolnosti, vezane uz naznačene probleme što ovo nije specifičnost samo naše Republike, te što su opisani problemi, pa i način njihova rješavanja u razvijenim zemljama poznati.

Pri planiranju i izgradnji akumulacija moraju se sveobuhvatno sagledati svi njezini pozitivni i negativni utjecaji. Pod pozitivnim utjecajima podrazumijevaju se efekti akumulacija u izravanju voda, odnosno vremenskoj preraspodjeli i osiguranja protjecaja u svrhu stvaranja uvjeta za pouzdano vodosnabdijevanje i navodnjavanje te za omogućavanje plovidbe, za povećanje malih protjecaja i razblaženje otpadnih voda, za efikasniju obranu od poplava itd.

Glavni negativni uticaji koji značajno utječu na opredjeljenje za gradnju akumulacija su promjene režima površinskih i podzemnih voda, narušavanje stabilnosti obala u nekim zonama uspora, potapanje značajnih obradivih ili urbanih prostora, procesi eutrofikacije u akumulacijama koji dovode do njihove ekološke degradacije i sl. Usto, izgradnja akumulacije mijenja prvobitne prostorno-funkcionalne, ekološke, privredno-ekonomske, socijalne i druge elemente u njezinom okruženju. Treba napomenuti da se navedeni negativni utjecaji pojavljuju gotovo redovno, ali s ohrabrujućom činjenicom da se velik dio njih može neutralizirati odgovarajućim hidrotehničkim mjerama i/ili objektima, ili pak kompenzirati pozitivnim utjecajima u nekoj drugoj sferi životnog okruženja.

Ipak navedeni negativni utjecaji, manje ili više, u čitavome svijetu predstavljaju značajan razlog za otpor izgradnji akumulacija od različitih i brojnih interesnih grupa. U bosanskohercegovačkoj predratnoj praksi protivljenje izgradnji akumulacija bilo je

povećano i lošim iskustvom stanovništva iz zone utjecaja akumulacije zbog neadekvatnog rješavanja njihovih životnih problema uzrokovanih izgradnjom. Nadalje, dodatni element koji je doprineo usporavanju i odgađanju odluka o izgradnji akumulacija može se naći u odsutnosti mehanizma za usuglašivanje interesa na bazi ekonomske motivacije svih zainteresiranih faktora, kao i nedostatku efikasne pravne regulative.

Poučeni negativnim iskustvom na već izgrađenim akumulacijama, danas vodoprivredni planeri paralelno sa investicijsko-tehničkom dokumentacijom studiraju i ekonomsko-socijalne utjecaje na okruženje akumulacije, s ciljem pravodobne identifikacije i sanacije nepovoljnih utjecaja. Uvriježeno je mišljenje da se bez jakog učešća "pravne države" problemi o kojima je riječ ne mogu uspješno riješiti.

Zaključci

Na osnovi predhodnih izlaganja, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- a) Efikasno i racionalno korištenje i upotreba vodnih resursa nameće potrebu da se umjetnim mjerama i aktivnostima utječe na preraspodjelu voda kako bi se njihova raspoloživost što više uskladila s prostornom i vremenskom raspodjelom potreba. Tim se mjerama uređuje vodni režim i one se, općenito gledajući, mogu svrstati u dvije kategorije: (i) akumuliranje voda čime se postiže vremenska preraspodjela, i (ii) transportiranje voda iz područja gdje su količine vode veće od potreba u područja gdje su deficiti jače izraženi, čime se postiže prostorna preraspodjela.
- b) Intenzivna proučavanja te problematike pokazala su da je (u bližoj ili daljoj) budućnosti neophodna izgradnja većega broja akumulacija različitih namjena i veličina. Planirana je izgradnja 35 akumulacija ukupne zapremine od 2.980 hm³. Veći broj akumulacija planiran je u slivu rijeke Save (67% od ukupno planirane zapremine). Spomenutim akumulacijama postigao bi se značajan postotak izravnjenja voda od 20% u odnosu na do sada postignutih 9%.
- c) S obzirom na to da je broj mogućih mjesta za izgradnju akumulacija ograničen, posebno se ističe značaj zaštite planiranih lokaliteta od "upada" drugih sistema (urbanih, saobraćajnih, privrednih i drugih). Također se iskazuje na značaj zaštite kvaliteta voda vodotoka na kojima je planirana izgradnja. U vezi s tim, neophodno je imati u vidu da će u sljedećem razdoblju, za rješavanje tih problema veoma važnu ulogu igrati kompleksan naučni pristup, demokratsko odlučivanje zasnovano na ekonomskoj motivaciji zainteresiranih strana i efikasne mjere "pravne države". To će ujedno biti i prvi preduvjet da se rezervirani prostori za akumulacije sačuvaju, a da se smanje raznovrsni oblici opiranja izgradnji planiranih objekata, sve s ciljem da se dođe do društveno optimalnih rješenja.

Literatura

- 1 Hrelja H., Isailović D.: Uređenje vodnog režima Bosne i Hercegovine, Zbornik savjetovanja "Obnova i razvoj vodoprivrede u poratnom periodu", Sarajevo 1993.
- 2 Mikulec S.: Problemi prevođenja voda u Jugoslaviji, Radovi broj 20, Zavod za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu, Sarajevo 1979.
- 3 Ristić D.: Prilozi usmjeravanju daljnjeg razvoja vodoprivrede u SR BiH - Prethodna razmatranja (Radna verzija), Zavod za vodoprivredu Sarajevo, Sarajevo, 1990.
- 4 Stanje vodoprivrede Bosne i Hercegovine i osnovni strateški stavovi i prijedlozi za njeno unapređenje i razvoj - studija, Zavod za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu, Ekonomski institut sarajevo i Zavod za vodoprivredu Sarajevo, Sarajevo, 1985.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Todor Bjedov

R 6-11

Višenamjensko korištenje akumulacijskih jezera rijeke Zrmanje

SAŽETAK: *U radu se ukazuje na značenje uređenja i korištenja voda i oprečne interese korisnika voda i institucija zaštite prirodnih vrijednosti. Ukazuje se na put usklađivanja interesa kroz dugoročne planove razvoja i stručne podloge. Izlažu se problemi koji utječu na obradu i metode izbora rješenja. Opisuje se postojeće stanje izrađenosti stručnih podloga i izgrađenosti objekata za korištenje voda. Naglašava se složenost vođenja i izrade višenamjenskih projekata i obavještava o postojanju posebne studije s konkretnim prijedlozima višenamjenskih rješenja. Analiziraju se rezultati studije "Višenamjensko uređenje i korištenje voda u slivu Zrmanje", Elektroprojekt, Zagreb 1987. Kroz analizu se ukazuje na rezultate kojima bi trebalo posvetiti dužnu pažnju ukoliko se želi na društveno opravdan način postići racionalno rješenje uređenja i korištenje voda u slivu Zrmanje.*

Pažnja se posvećuje prijedlozima rješenja akumulacije "Zrmanja" kroz njezinu ključnu ulogu u vodoopskrbi sjevernodalmatinske regije i pravodobno ispunjenje potreba preko postojećega regionalnoga vodovoda.

Analiza nedvosmisleno ukazuje na dileme i njihovu težinu, na potrebu rješavanja oprečnih interesa i hitnost izgradnje čim se zato steknu potrebni uvjeti. Zaključuje se da je plansko korištenje voda sliva Zrmanje okosnica razvoja šire regije.

KLJUČNE RIJEČI: *Zrmanja, višenamjensko, studija, akumulacija, vodoopskrba, Prevljes, Žegar.*

Multipurpose Utilization of the Zrmanja River Reservoirs

ABSTRACT: *The paper indicates significance of water regulation and use, and opposed interests of water users and natural resources protection institutions. The interest harmonization through long-term developmental plans and engineering documentation is pointed out. The problems affecting data processing and solution selection methods are described. The present level of the engineering documentation and water use projects completeness is described. The complexity of multipurpose project management and design documentation development is stressed, and the existence of special study containing concrete proposals for multipurpose solutions announced. The results are analyzed of the study Multipurpose Water Development and Utilization in the Zrmanja Catchment prepared by Elektroprojekt, Zagreb in 1987. The analysis focuses on the results which should be given proper attention if the Zrmanja catchment water is to be used in socially justified and reasonable way.*

The attention is paid to the proposals for the Zrmanja Reservoir design based on its key role in water supply of the Northern Dalmatia region and timely fulfillment of requirements through the regional water supply system.

The analysis reveals the dilemmas and their seriousness, the need to resolve opposite interest and urgency of project construction as soon as the required conditions are provided. The conclusion is that the planned use of the Zrmanja catchment water resources is the framework for the wider regional development.

KEY WORDS: Zrmanja, multipurpose, study, reservoir, water supply, Prevljes, Žegar

1. Uvod

U prostoru sliva Zrmanje površine oko 780 km jedan je od bitnih elemenata njegova uređenja i korištenja te uvjeta života ljudi uređenje i korištenje voda. To je naročito opsežan i složen zadatak čijom se realizacijom otvaraju mogućnosti najboljega korištenja raspoloživih prirodnih resursa. S druge strane, sve se češće postavljaju stroga ograničenja u pogledu načina njihova korištenja, kako bi se u što većoj mjeri sačuvala voda i tlo te izuzetne prirodne i turističke vrijednosti.

Različiti, i često oprečni interesi u pogledu korištenja voda i strogi zahtjevi očuvanja prirodnih vrijednosti, nezaobilazni su u pokušaju pronalaženja optimalnoga višenamjenskoga rješenja, a mogu se uskladiti samo kroz dugoročne planove razvoja za koje je neophodno osigurati odgovarajuće stručne podloge i suradnju stručnih institucija (lit. 0). Na putu izrade stručnih podloga, osim već spomenutoga, prisutni su i drugi veliki problemi koji u znatnoj mjeri utječu na obradu i metode izbora rješenja, a to su:

- različiti nivoi istraženosti prirodne osnove
- raznolikost kvalitete postojećih podloga
- nemogućnost istovrsnoga točna vrednovanja koristi i šteta s gledišta raznih korisnika
- različito izražen društveni interes za pojedine sektore korištenja i očuvanja prirodnih resursa

2. Postojeće stanje

Dosad je izrađen veći broj studija i elaborata u kojima se razmatralo korištenje voda sliva Zrmanje od kojih su najbrojniji elaborati o hidroenergetskom iskorištavanju slivova (npr. lit. 1 i 2). Vodoprivredna osnova sliva Krke i Zrmanje (lit. 3) razradila je višenamjensko uređenje slivova u pogledu zaštite od voda, zaštite voda i korištenja voda, uvažavajući i zaštitu značajnijih prirodnih ljepota.

Kao rezultat dijela posebnih studija i projekata do danas je izgrađeno jedno hidroenergetsko postrojenje RHE Obrovac snage 310 MVA koje koristi vode pridruženoga sliva, te na srednjem bruto padu od 544,5 m koristi instaliranu protoku od 60 m³/s i ostvaruje godišnju proizvodnju od 420 GWh u protočnom i 225 GWh u pumpnome radu. Osim toga, izgrađen je manji vodovod Žegara, jedan manji natapni sistem za Žegarsko polje i Regionalni vodovod sjeverne Dalmacije kapaciteta 1.150 l/sek, a projektiranoga na 3.200 l/sek za potrebe Benkovca, Obrovca, susjednoga obalnoga područja Zadra i sjeverodalmatinskoga otočja (lit. 7 i 8).

Imajući u vidu svu složenost vođenja i izrade višenamjenskih hidrotehničkih projekata i želju da se dode do što jasnijega i konkretnijega prijedloga rješenja kao podloge za izradu planova razvoja, dogovoreno je da se tom poslu pristupi planski, izradom posebne studije. Tako je 1987. godine izrađena studija pod naslovom "Višenamjensko uređenje i korištenje voda u slivu Zrmanje" (lit. 6).

Pritoka Zrmanje, Krupa, je kao autonomna prirodna vrijednost zakonom zaštićena, te je izuzeta iz razmatranja sa stajališta formiranja višenamjenskih akumulacija. Ipak se

u studiji (lit. 6) daje prikaz mogućnosti energetskega korištenja i Krupe izgradnjom malih hidroelektrana (MHE), koje bi svojim protočnim radom minimalno utjecale na biološke vrijednosti parka prirode. Također se za izvorišni dio Zrmanje do akumulacije Prevjese daje pregled mogućnosti iskorištenja potencijala rijeke u malim HE.

3. Prijedlog višenamjenskih rješenja i korištenja akumulacija

3.1 Općenito

Na rijeci Zrmanji predviđa se izrada višenamjenskih akumulacijskih jezera (skica 1 i 2). Cilj je studije (lit. 6) na najpovoljniji način raspodjeliti vodu iz akumulacija između više korisnika.

Osnovni su korisnici akumulacija elektroprivreda (HEP) i vodoprivreda (HV).

Ostalim korisnicima smatraju se ribarstvo, turizam, sport i rekreacija koji određenu korist ostvaruju samo uzgred jer se akumulacije ne predviđaju radi njih.

Do najboljega projektnoga rješenja pokušalo se doći kroz gospodarsko-tehničke usporedbe velikoga broja varijanata energetskega korištenja vodotoka, sa stajališta zajedničkoga rada elektrana u slivu, te u sklopu zahtjeva osnovnih korisnika voda, uzimajući u obzir utjecaje predloženih rješenja na okolinu.

Nakon detaljne analize dosad izvršenih obrada, istražnih radova, te studijske i projektne dokumentacije, uz korištenje raspoloživih topografskih, hidroloških i hidrogeoloških podloga (lit. 1 - 5) i pregleda terena, izbor je sužen na dvije osnovne varijante iz kojih su definirane tri višenamjenske akumulacije: Prevjes, Žegar i Zrmanja (skica 1 i 2).

Te tri akumulacije predviđaju se energetske koristiti s tri hidroelektrane uz zadovoljenje potreba ostalih korisnika, prvenstveno za vodoopskrbu, a potom i za navodnjavanje.

3.2 Osnovni podaci o predloženim rješenjima višenamjenskih akumulacija

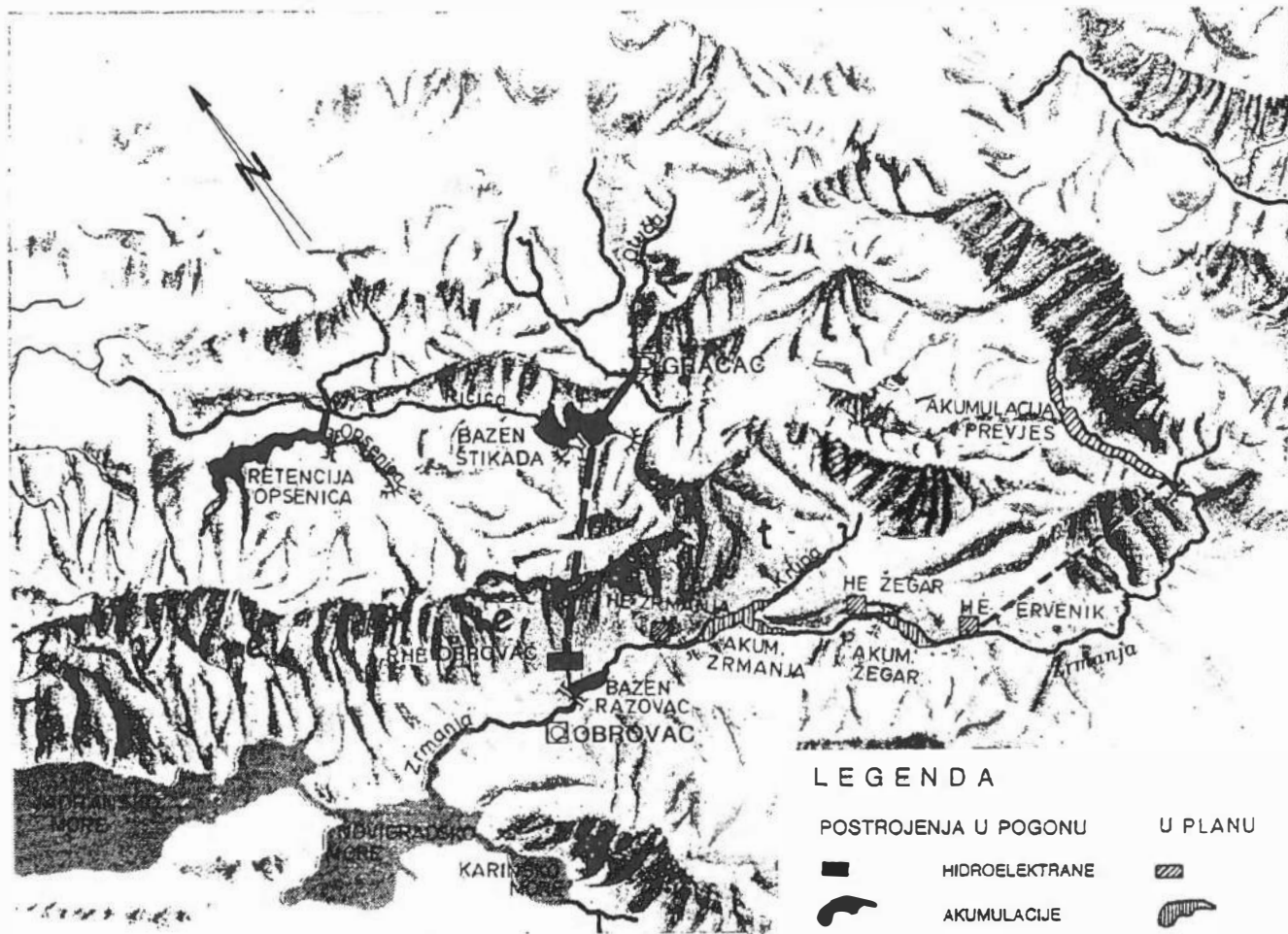
Na temelju gospodarsko-tehničkih analiza i simulacije rada varijantnih hidroenergetskih rješenja, predložena su rješenja koja će najbolje udovoljiti zahtjevima korisnika voda i prostora, uz poštivanje usvojenih kriterija.

3.2.1 Akumulacija Prevjes

Ta se akumulacija ostvaruje nasutom kamenom branom s glinenom jezgrom i injekcijskom zavjesom. Predlaže se s kotom uspora 270 m n.m. jer se tako izbjegavaju velike poteškoće zbog potapanja naselja Zrmanja, dijela polja i ceste. Najpovoljnija je varijanta energetskega korištenja derivacijsko postrojenje HE Ervenik I. Mrtvi prostor zapremine $8 \times 10^6 \text{ m}^3$ može preuzeti $2/3$ ukupnog nanosa koji dopijeva u akumulaciju. Raspoloživi volumen za višenamjensko korištenje iznosi $9,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ prvenstveno za vodoopskrbu, navodnjavanje i energetiku (tab. 1 i 2).

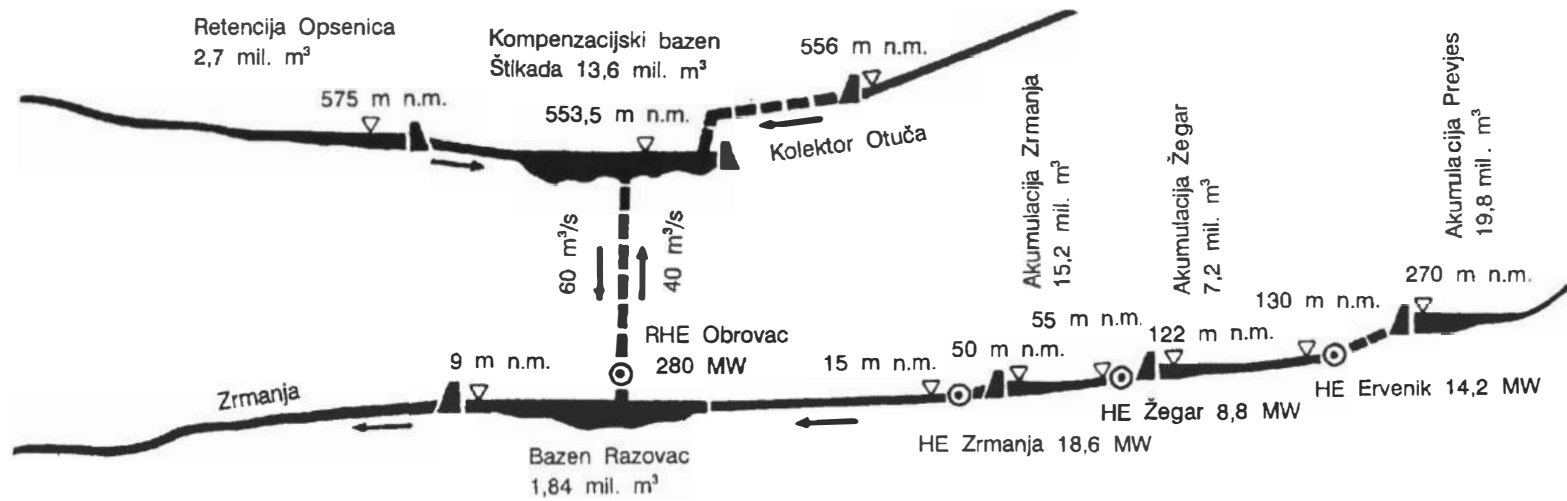
3.2.2 Akumulacija Žegar

Ova akumulacija ostvaruje se betonskom gravitacijskom branom i injekcijskom zavjesom, s jednoznačno usvojenom kotom normalnog uspora 122 m n.m. Ograničavajući faktor bio je uvjet da se ne naruši mogućnost odvodnje obradivog zemljišta Erveniškoga polja. Najpovoljnija je varijanta energetskega korištenja derivacijsko postrojenje HE Žegar definirana u prethodnoj dokumentaciji (lit. 9), dok je in-



ŠIRI SLIV RIJEKE ZRMANJE S AKUMULACIJAMA

Skica 1



Tablica 1 OSNOVNI PODACI O MOGUĆIM I POSTOJEĆIM AKUMULACIJAMA I BAZENIMA

R. br.	NAZIV AKUMULACIJE I BAZENA	SRED.GOD. PROTOKA ZRMANJE Q_{zr}	UKUPNI VOLUMEN AKUMULAC. V	RASPOLOŽIVI VOLUMEN V	NORMALNI USPOR GRV	POVRŠINA	DUŽINA	MAKS. DUBINA	NIVO PROJEKTNE DOKUMENTACIJE	NAPOMENA
		m^3/s	$10^6 m^3$	$10^6 m^3$	m n.m.	km^2	m	m		
1	PREVJES	5,47	19,78	9,5	270,0	1,76	5.000	35	IDEJNO RJEŠENJE	
2	ŽEGAR	10,0	7,23	7,0	122,0	0,87	6.300	57	OSNOVNI PROJEKT	
3	ZRMANJA	22,9	15,20 10,70	14,0 10,0	50,0 45,0	1,03 0,66	8.700 6.800	40 30	- IDEJNI PROJEKT - IDEJNO RJEŠENJE	
4	BAZEN RAZOVAC	40,2	1,84	-	9,0		2.200	8,5	IZVEDENO STANJE	
5	KOMP.BAZEN ŠTIKADA	11,42	13,6	-	553,5				IZVEDENO STANJE	PRIDRUŽENI SLIV GRAČAČKOG PLATO

Tablica 2 OSNOVNE KARAKTERISTIKE PLANIRANIH I POSTOJEĆIH HIDROELEKTRANA

R. br.	NAZIV HIDRO-ELEKTRANE	NORMALNI USPOR G.R.V.	MINIMALNI USPOR DRV	DONJA VODA DV	BRUTO PAD	NETO PAD	SNAGA P_i	INSTALIRANA PROTOKA Q_i	$\beta = Q_i/Q_{zr}$	TIP ELEKTRANE	BROJ AGREGATA	NAPOMENE
		m n.m.	m n.m.	m n.m.	m	m	MW	m^3/s				
1	HE ERVENIK	270,0	264	130	140	130	14,2	12	2,11	Derivaciona	2	IDEJNO RJEŠENJE
2	HE ŽEGAR	122,0	98	55	67	65,4	8,8	15	2,62	Derivaciona	2	OSNOVNI PROJEKT
3	HE ZRMANJA	50,0 45,0	34 32	15 15	35 30	34,1 29,1	18,6 15,9	60 60	2,62 2,62	Pribranska	2 2	- IDEJNI PROJEKT - IDEJNO RJEŠENJE
4	RHE OBROVAC	553,5	550,0	9	544,5	517 559	280 236	60 40	5,25	Reverzibilna	2	- U turbinskom radu - U crpnom radu

stalirana protoka (Q_i) definirana studijom (lit.6). Raspoloživi volumen za višenamjensko korištenje je $7,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ prvenstveno za vodoopskrbu i energetiku (tab. 1 i 2).

3.2.3 Akumulacija Zrmanja

Ostvaruje se betonskom gravitacijskom branom i injekcijskom zavjesom a razmatraju se dvije varijante kote uspora. Energetsko korištenje predviđa se u pribranskoj HE Zrmanja (tab. 1 i 2).

Dvije su osnovne namjene korištenja akumulacije Zrmanja vodoopskrba i energetika, s tim da potrebe regionalnoga vodovoda sjeverne Dalmacije imaju prvenstvo pred energetikom. Posebni zahtjevi vezani uz korištenje i uređenje prostora, te zaštitu prirode i turizma na ovom području, postavljaju izvjesna ograničenja u smislu očuvanja postojećih ekološko-vegetacijskih i pejzažnih vrijednosti.

3.3 Analiza i vrednovanje varijanata rješenja akumulacije "Zrmanja" kroz njezinu ulogu u sustavu akumulacija na rijeci Zrmanji

Kod analize i vrednovanja varijantnih rješenja višenamjenskoga korištenja akumulacije Zrmanja, pošlo se od generalno utvrđenih kriterija za vrednovanje po redoslijedu prioriteta koji vrijede za cijeli sliv Zrmanje:

- Vodoopskrba sjevernodalmatinske regije racionalno je moguća, prema dosadašnjim spoznajama, osim iz lokalnih izvora, još samo iz sliva Zrmanje. Zato je vodoopskrbi, koja je od državnoga značaja, dan prioritet, uz respektiranje zahtjeva za zaštitu prirode prema Prostornom planu Republike Hrvatske (lit. 10).
- Zahtjevi zaštite prirode stavljeni su na drugo mjesto po prioritetu i imaju regionalno značenje budući da je veći dio sliva Zrmanje sastavni dio Parka prirode "Velebit".
- Energetsko korištenje spada, pored vodoopskrbe, u osnovnu namjenu korištenja akumulacije.
- Poljoprivredno korištenje je trećerazredno i lokalnoga je značenja.

Iako moguća instalirana snaga i proizvodnja električne energije iz akumulacije ne predstavljaju značajnije energetske vrijednosti, one su ipak korisne i potrebne. Korištenje preostalog hidroenergetskog potencijala danas je jedino na što energetski sustav sa sigurnošću može računati.

Kod usvajanja varijanata rješenja prethodno opisanih akumulacija (Prevjes i Žegar) usuglašeni su zahtjevi svih sudionika u korištenju prostora i voda.

Međutim, kod izbora optimalnoga višenamjenskoga rješenja akumulacije Zrmanja izdvojene su dvije varijante, gdje u energetskom pogledu razlike nisu velike, ali sa stajališta zahtjeva vodoopskrbe i uvjeta zaštite prirode postoji sukob interesa koje studija (lit.6) nije uspjela usuglasiti, jer neki elementi, koji bitno mogu utjecati na konačnu odluku, prelaze okvire projektiranja.

Ovdje se u sažetu obliku iznose informacije koje bi trebale pomoći kod donošenja konačne odluke, a rezultat su detaljnih analiza i timskog rada obrađivača (lit.6).

Imajući u vidu ranije utvrđen prioritet koji ima vodoopskrba, došlo se nakon temeljitih analiza do sljedećih zaključaka:

- Vodoopskrba općina Zadar s otocima, Benkovac, Obrovac i Biograd s otočjem, ovisi o dopremi vode iz Zrmanje putem Regionalnog vodovoda.
- Minimalne protoke Zrmanje na mjestu zahvata (Berberov buk) u VII i VIII mjesecu, kada su potrebe pitke vode najveće, padnu i ispod $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ (povratni period svakih 5 godina prema raspodjeli Pearson 3, lit.6 knjiga H1).

– Potrošnja vode će iza nastupa normalnih uvjeta življenja, tu vrijednost vjerojatno dostići već za oko 7 godina, dokad će trebati izgraditi prvu akumulaciju na Zrmanji.¹

S obzirom na nivo istraženosti i stupanj raspoložive projektne dokumentacije, te aktualnost vodoopskrbe, akumulacija Zrmanja ima prioritet u slijedu izgradnje ispred druge dvije. Također i sa stajališta manjih troškova zahvatanja vode za vodovod, ova akumulacija ima prioritet.

Regionalni vodovod dimenzioniran je na dovod 3,2 m³/s na koliko su procijenjene i ukupne potrebe pripadnih potrošača, koja će se podmirivati iz postojećih izvorišta s oko 1,0 m³/s. (lit. 7,8 i 12). Da bi se osiguralo dovoljno vode iz Zrmanje u vrijeme minimalnih protoka, osim već zahvaćenih količina, potrebno je akumuliranje do kraja V mjeseca 26,5x10⁶m³ vode (za sigurnost 100 godišnje pojave male vode), odnosno 21x10⁶m³ vode (za sigurnost 20 godišnje pojave male vode), što se dobro vidi na priloženim dijagramima (dijagram 1). Od ove količine u akumulaciji Zrmanja može se osigurati 14x10⁶m³ vode uz uspor do kote 50 m n.m., a samo 10x10⁶m³ vode, ako se uspori do kote 45 m n.m.

Ovi volumeni predstavljaju cjelokupne količine vode u akumulaciji umanjene za oko 10%, a sastoje se od tzv. korisnoga volumena i mrtvoga prostora, te njihovo korištenje za vodosnabdijevanje uvjetuju kriteriji kvalitete vode. Predviđeno umanjeno predstavlja izvjesne neizbježne gubitke (procjeđivanje i evaporaciju) koji izravno djeluju na smanjenje raspoloživoga ukupnoga volumena akumulacije.

Da se zadovolji predviđeni kapacitet vodovoda sa sigurnošću 100-godišnje pojave male vode potrebno je izgraditi sve tri akumulacije.

S obzirom na nivo istraženosti i raspoloživost dokumentacije, objektivno se može pretpostaviti da je druga po slijedu izgradnja akumulacije Žegar s raspoloživim volumenom od oko 7 x 10⁶m³ za vodoopskrbu. Na kraju slijedi izgradnja akumulacije Prevjės s raspoloživim volumenom za vodoopskrbu od oko 9,5 x 10⁶m³, čime se može pokriti preostale zahtjeve za vodom za obje varijante kote uspora u akumulaciji Zrmanja.

Na priloženom se dijagramu može uočiti kojom dinamikom treba graditi akumulacije ukoliko bi se ispunio prognozirani trend rasta potrošnje. Vremenska skala je relativna, a nulta godina bila bi godina početka normalizacije uvjeta života ljudi u ovoj regiji.

Nakon naprijed iznesenih informacija koje se odnose na potrebe vodoopskrbe kao prioritetnoga korisnika u slivu Zrmanje, ukratko će se iznijeti i zahtjevi za zaštitu prirode na području akumulacije Zrmanja, koji zauzimaju drugo mjesto po rangu zadovoljenja potreba.

Uglavnom ćemo citirati neke zaključke autora knjige (lit. 6, knjiga H8).

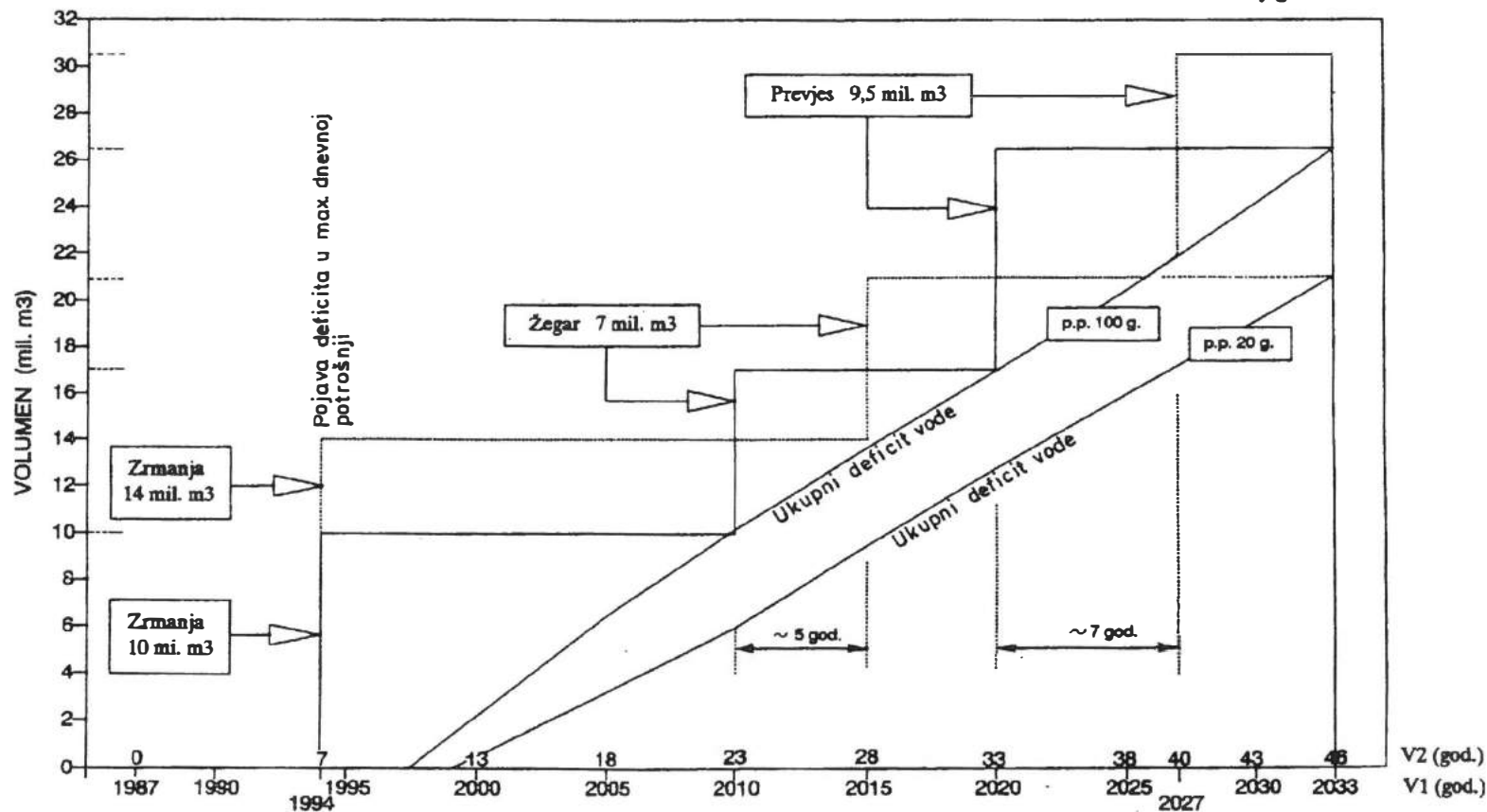
Kanjon Zrmanje nizvodno od Obrovca stavljen je pod zaštitu Zakona o zaštiti prirode, a Zrmanja uzvodno od Obrovca obuhvaćena je granicom Parka prirode "Velebit" (lit. 11).

Zahtjevi su za zaštitu prirode u smislu prirodnoznanstvenih interesa, te potencijalnih mogućnosti za turističko rekreativno korištenje, sljedeći:

1 U lit. 6 upotrebjeno je apsolutno (kalendarsko) vrijeme za prikaz porasta potreba za vodom i njihovo pokrivanje izgradnjom akumulacija na Zrmanji. Zbog nastalih okolnosti, uvedena je relativna vremenska skala i pretpostavljeno da će se nakon normalizacije uvjeta života u tim krajevima relativno brzo uspostaviti prijeratna potrošnja vode i nastaviti prognoziranim dinamikom porasta iz lit. 6.

**OSIGURANJE VODE ZA VODOOPSKRBU IZ
AKUMULACIJA NA RJEČI ZRMANJI
(Regionalni vodovod sjeverne Dalmacije)**

Dijagram 1



V1 - Vremenska skala prema obradama u lit. 6 iz 1987. godine

V2 - Relativna vremenska skala za potrebe ovog prikaza

- očuvanje biološko-ekološke ravnoteže čitavog ekosistema, a naročito osnovnih značajki Parka prirode i posebno vrijednih lokaliteta
- posebni režimi zaštite za očuvanje rijetkih i ugroženih vrsta
- osiguranje kvalitete i količine voda u svim hidrološkim uvjetima što bliže prirodnom stanju
- očuvanje autohtonih hidroloških i pejzažnih vrijednosti kao preduvjeta za odgojne, inspirativne i turističko-ekonomske vrijednosti.

Ovi zahtjevi u suprotnosti su s interesima ostalih korisnika, te nisu mogli biti ispunjeni na čitavom području sliva. Kako je već spomenuto, kod akumulacije Prevjes i Žegar postignut je kompromis, te su jednoznačno predložena najpovoljnija rješenja sa stajališta višenamjenskoga korištenja voda i uređenja i korištenja prostora, te zaštite prirode.

Za akumulaciju Zrmanja izdvojene su dvije varijante koje se razlikuju u koti normalnog uspora. Prokomenirat ćemo ih s gledišta zahtjeva zaštite prirode, uglavnom citirajući autore knjige H8 iz lit. 6:

- Izgradnjom akumulacije Zrmanja s kotom normalnoga uspora 50,0 m n.m. gube se osnovne značajke parka prirode u čitavu kanjonskome dijelu Zrmanje i svi posebno vrijedni lokaliteti na Zrmanji.
- Izgradnjom akumulacije Zrmanja s kotom normalnoga uspora 45,0 m n.m. gube se osnovne značajke Parka prirode u većem dijelu Zrmanje, a ostaje sačuvana cjelina geomorfološko-zoološkoga rezervata sutoka Krupe i Zrmanje.

Kod izbora najpovoljnijega rješenja imao se u vidu osnovni kriterij vrednovanja koji je dogovoren na zajedničkom sastanku projektantskoga tima i naručilaca studije.

Po tom kriteriju samo se zahtjevima vodoopskrbe može opravdati mjerodavna kota normalnoga uspora u akumulaciji Zrmanja.

Na temelju dopunskih obrada i analiza, čiji su rezultati ranije izloženi, kota 45 m n.m. bi mogla zadovoljiti potrebe regionalnoga vodovoda, ali uz uvjet da se u predviđenom vremenskom slijedu izgrade sve tri akumulacije na Zrmanji. Time bi bile zadovoljene potrebe vodoopskrbe i djelomično zahtjevi očuvanja prirodnih vrijednosti, te postignut kompromis između ova dva korisnika. Međutim ostaje otvorena dilema koja, kako je već rečeno, prelazi okvire projektiranja, i ulazi ustvari u proces koji uključuje ocjenu zadovoljenja različitih nacionalnih ili regionalnih ciljeva projektom. To je uvjet da se u predviđenom vremenskom slijedu izgrade sve tri akumulacije na Zrmanji.

Zato je u sadašnjoj fazi projekta, za ovu varijantu rješenja, potrebno uključiti nadležne institucije koje bi mogle odlučiti.

Možemo ponovno istaknuti da će akumulacija Zrmanja biti potrebna već za oko 7 god. što je vrlo kratak rok, ako se ima u vidu da se za kotu 45 mora raditi novi idejni projekt (idejni projekt postoji za kotu 50). Za sljedeću akumulaciju HE Žegar postoji dokumentacija samo na nivou osnovnoga rješenja, a za HE Ervenik (akumulacija Prevjes) treba izraditi kompletnu projektnu dokumentaciju i provesti istražne radove.

Postavlja se pitanje mogu li se postavljeni rokovi ispuniti. Ako ne, vodoopskrba sjevernodalmatinske regije neće biti u cijelosti zadovoljena. Usvoji li se kota 50 m n.m. u akumulaciji Zrmanja, tada se rokovi izgradnje uzvodnih akumulacija pružuju; Žegar za 5 godina, i Prevjes za 7 godina, što očito povećava izgleda za pravodobno ispunjenje potrebnoga kapaciteta Regionalnog vodovoda.

4. Zaključak

Višenamjensko uređenje i korištenje voda sliva Zrmanje otvara mogućnost razvoja sjeverodalmatinske regije zato što će izgradnja infrastrukturnih kapaciteta vodoopskrbe i elektroenergetike otvoriti mogućnost razvoja turizma, poljoprivrede i stočarstva. Integralno korištenje prirodnih resursa omogućit će zapošljavanje stanovništva i podizanje životnoga standarda. Iz tih razloga treba računati s izgradnjom sve tri akumulacije na rijeci Zrmanji, a prioritet treba dati akumulaciji "Zrmanja".

Literatura

- (0) Uputstva za vrednovanje višenamjenskih vodoprivrednih projekata sa ekonomskog društvenog i aspekta zaštite životne sredine - Ekonomska zajednica za razvoj i suradnju, Pariz 1982. god.
- (1) Osnovni projekt Krka - Zrmanja, Elektroprojekt, Zagreb, 1952. god.
- (2) Studija hidroenergetskog iskorištenja sliva Krke i Zrmanje, Elektroprojekt, Zagreb, 1964. god.
- (3) Vodoprivredna osnova sliva Krke i Zrmanje, Elektroprojekt, Zagreb, 1975/78. god.
- (4) HE Zrmanja, Idejni projekt, PB Split (sa suradnicima) 1985. god.
- (5) Bojenje voda ponornog dijela Zrmanje u području Mokrog polja, Geološki zavod 1986. god.
- (6) Viešnamjensko uređenje i korištenje voda u slivu Zrmanje, Studija, Elektroprojekt, Zagreb, 1987. god.
- (7) Regionalni vodovod Sjeverne Dalmacije, Idejna studija, Gradski vodovod Zadar, Zadar, 1970. god.
- (8) Zadarski vodovod - R.O. Vodovodi sjeverne Dalmacije, Zadar 1976.
- (9) HE Žegar, Osnovno rješenje, EPD-Split, OOUR Projektni biro, 1985. god.
- (10) Prostorni plan Republike Hrvatske, Zagreb, 1989.god.
- (11) Zakon o proglašenju parka prirode "Velebit", 1981. god., NN 24/81.
- (12) Dugoročni program opskrbe pitkom vodom RH, JVP, Zagreb, 1991. god.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Dr. Mato Goluža, Vesna Čović

R 6-12

Višenamjensko korištenje akumulacija u slivu Trebižata

SAŽETAK: *Sliv Trebižata ima površinu 1.268 km² i dužinu od oko 120 km, mjereno po osovini korita vodotoka. U širem hidrogeološkom smislu pripada Dinarskom kršu. Prosječne padaline na tom slivu iznose oko 1 500 mm godišnje, ima brojna krška vrela sa znatnim prosječnim i minimalnim izdašnostima, tj. rijeke Vrljiku, Tihaljinu, Mlade i Trebižat. Na slivu postoje značajna krška polja, preko 15 000 ha površine, koja su još uvijek zabarena, u pojedinim razdobljima godine pod vodom, a ljeti na njima vlada velika suša zbog malih i rijetkih kiša. Na slivu postoji nekoliko lokaliteta gdje se mogu izgraditi vodne akumulacije i višenamjenski koristiti za navodnjavanje, vodoopskrbu, obranu od poplava, proizvodnju električne energije, ribogojstvo i drugo. Dvije vodne akumulacije, tj. "Tribistovo" i "Ričica" već su izgrađene.*

Ključne riječi : *vodotok, akumulacija, krško vrelo, krško polje, integralni projekt*

Multipurpose Utilization of the Trebižata Catchment Reservoirs

ABSTRACT: *The Trebižata catchment has an area of 1,268 sq.km. and is about 120 km long measured along the streamflow axis. In wider hydrogeological sense it belongs to the Dinaric karst. The average precipitation in the catchment is about 1,500 mm a year. The karst springs with significant average and minimum yields are numerous, i.e. the Vrljika, Tihaljina, Mlade and Trebižat rivers. The presence of karst fields in the catchment is significant, i.e. over 15,000 ha of area. They are still marshy, and during some parts of the year under water; the summer season is typical for intensive drought because the rainfall is low and scarce. There are several sites in the catchment favorable for reservoir construction and multipurpose use (irrigation, water supply, flood control, power generation, fish-farming, etc.). Two reservoirs, Tribistovo and Ričica, have already been constructed.*

KEY WORDS: *streamflow, reservoir, karst spring, karst field, integrated project*

Uvod

Sliv Trebižata ima površinu 1.268 km^2 i dužinu oko 120 km, mjereno po osovini korita vodotoka, a pripada slivu Neretve, čija površina iznosi 3.183 km^2 . Rijeka Trebižat desna je pritoka Neretve u koju se ulijeva nizvodno od Čapljinje. Dugačka je oko 48 km, a na ovoj dužini mijenja imena: Trebižat, Mlade, Tihaljina, te je zbog toga zovu troimena rijeka TMT. Uzvodno od Tihaljine nastavlja se rijeka Vrljika, koju s Tihaljinom spaja tunel "Petnik" dužine 1 564 m. Dužina rijeke Vrljike iznosi oko 20 km. Uzvodno je od rijeke Vrljike rijeka Sija, dužine oko 7 km, a uzvodno od Sije nastavlja se Suvaja dužine oko 8 km. Od Suvaje uzvodno nastavlja se povremeni vodotok Ričina dužine oko 25 km do Ružičkoga potoka koji je dug oko 3,5 km. Ružički potok najuzvodniji je dio sliva Trebižata. Na tom potoku u mjestu Tribistovo izgrađena je akumulacija zapremine $4,95 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, a planirana je u drugoj fazi ukupne zapremine $15 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Kota je uspora ove akumulacije 916,50 m.n.m. Akumulacija je namijenjena vodoopskrbi općine Posušje i nekih naselja u općini Imotski, zatim stočnom fondu, navodnjavanju okućnica u površini od 350 m^2 , proizvodnji električne energije u maloj hidroelektrani (proizvodnje od 2,7 GWh/god), te obrani od poplava nizvodnih područja. Nizvodno od te akumulacije, dužine oko 10 km, u mjestu Rastovača, izgrađena je kolmacijska akumulacija zapremine $23,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ na koti 609,00 m.n.m. koja služi za sprječavanje erozije zemljišta, taloženje mulja i obranu od poplava nizvodnih prostora. Idući dalje nizvodno oko 20 km u mjestu Ričice, izgrađena je istoimena akumulacija na koti 396,00 m.n.m. zapremine $31 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ koja je namijenjena proizvodnji električne energije (7,7 GWh/god), zatim navodnjavanju Imotsko-Bekijskog polja u površini od 8.400 ha, te obrani od poplava nizvodnih područja. Nizvodnije, oko 45 km od Tribistova, na rijeci Suvaji formirana je prirodna retencija Prološko Blato na koti 274,00 m.n.m. zapremine $11,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, u kojoj se zadržavaju vode s okolnog slivnog područja, odakle djelomično otječu u vodotok Siju i ponorske zone po obodu retencije. Idući dalje nizvodno oko 67 km dolazi se do tunela Petnik s regulacijskim zatvaračem. Ispred tunela se za vrijeme poplava može formirati retencija zapremine $169 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ iz koje vode programirano otječu tunelom i ponorskim zonama prema izvoru Tihaljine i drugim izvorima na nižim horizontima. Taj je tunel kapaciteta oko $55 \text{ m}^3 / \text{s}$, ali se ni taj kapacitet za vrijeme velikih voda ne može koristiti zbog ugrožavanja nizvodnih područja. Zbog toga je predviđena izgradnja akumulacije na rijeci Tihaljini u mjestu Klokun, na koti 127,00 m.n.m. zapremine $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, te proširenje tunela na kapacitet $90 \text{ m}^3 / \text{s}$ i hidroelektrane proizvodnje 33,8 GWh/god. Akumulacija "Klokun" koja je udaljena nizvodno od Tribistova oko 82 km, namijenjena je prvenstveno za prijem vodnoga vala koji dolazi kroz tunel "Petnik" za vrijeme velikih voda, zatim navodnjavanje Ljubuškoga i Vrgorskoga polja u površini preko 3.500 ha, te proizvodnju električne energije. O složenim hidrološkim i hidrogeološkim odnosima na tom slivu pisalo je više istraživača (J.Roglić 1938 i 1953, zatim A.Garazi 1956, A.Grund 1903, J.V.Daneš 1905, J.Cvijić 1926, Petrik 1960. i drugi).

Krška vrela na tom slivu brojna su. Ona tvore i prihranjuju rijeku Vrljiku i Trebižat i druge na riječnom koritu dugačku 120 km, od Tribistova do Neretve. Na najuzvodnijemu dijelu sliva pojavljuju se izvori Močila i Ružički potok koji tvore povremeni vodotok Ričinu, a sada akumulaciju "Tribistovo". Vrelo Opačac u biti je izvor rijeke Vrljike, u mjestu Prološcu na obodu Imotskoga polja, na koti 267,7 m.n.m. Srednja izdašnost s obližnjim vrelima iznosi $7,38 \text{ m}^3 / \text{s}$, a minimalna oko $1,5 \text{ m}^3 / \text{s}$ (M.Petrik 1961, 1962. i 1963. godine), a kaptirano je za opskrbu vodom općine Imotski i susjednih općina.

Grudsko vrelo nalazi se i izvire na obodu Bekijskoga polja. Srednja izdašnost za period od 30 godina tog vrela iznosi $3,55 \text{ m}^3 / \text{s}$, a minimalna $0,5 \text{ m}^3 / \text{s}$. Nakon kraćega toka ponire i pojavljuje se na izvoru rijeke Tihaljine, a kaptirano je za opskrbu vodom općine Grude.

Vrelo Tihaljine izvire na koti 141,4 m.n.m. u mjestu Tihaljina, a ima prosječnu izdašnost $14,08 \text{ m}^3 / \text{s}$ za vrijeme od 1924. do 1954. godine. Rijeka Tihaljina prima još nekoliko manjih vrela sa lijeve strane: Jakševicu, Nezdravicu, Zelengoru i druge, te jako vrelo Klokun.

Vrelo Klokun izvire na koti 119,00 m.n.m., ima prosječnu izdašnost oko $15 \text{ m}^3 / \text{s}$ za period od 1923. do 1939. godine. Godine 1965, nakon sušnoga razdoblja, izmjerena je izdašnost vrela $8,5 \text{ m}^3 / \text{s}$. To će vrelo biti uključeno u buduću akumulaciju "Klokun".

Vrelo Vrioštica tvori rijeku Vriošticu, lijevu pritoku Mlade, izvire u mjestu Vitina, na koti 99,00 m.n.m., a ima prosječnu izdašnost $6,9 \text{ m}^3 / \text{s}$ za period od 1924. do 1939. godine.

Vrela Studenčice, Kajtazovina, Gornje Vrilo i Srednje Vrilo izvire u mjestu Studenci, na koti od 45 - 48 m.n.m. Prosječna izdašnost ta tri vrela iznosi $6,9 \text{ m}^3 / \text{s}$ za razdoblje od 1924. do 1939. godine.

Iz dosad izloženog o krškim vrelima očito je da su ona na slivu Trebižata brojna, da imaju znatnu prosječnu i minimalnu izdašnost, te da su pravi dragulji i neprocjenjiva vrijednost u tom Dinarskome kršu. Ta krška vrela daju život spomenutim vodotocima, omogućavaju zajedno s površinskim vodama izgradnju akumulacija, koje se višenamjenski koriste. Posebno značenje imaju krška vrela za vodoopskrbu općina Posušje, Imotski, Ljubuški, Grude, Vrgorac i Čapljina, jer je kvaliteta vode s određenom dezinfekcijom u sanitarnome i u svakom drugom pogledu pogodna za upotrebu. Zbog svega toga, krška vrela i akumulacije treba štiti, ne samo na izvorištima, nego i na čitavom slivnom području.

Čitav sliv Trebižata zajedno s vodotocima, akumulacijama i krškim poljima pripada Dinarskome kršu, sa svim fenomenima krša, tj. škrapama, uvalama, brdima, suhim dolinama, povremenim bujičnim vodotocima, estavelama, ponorima i krškim poljima. U geološkom pogledu, taj je krš sastavljen pretežno od vapnenačkih vodopropusnih stijena što kod akumuliranja voda stvara određene poteškoće.

Integralni projekt " Sliv Trebižat "

Da bi se akumulacije, vodotoci i krška vrela mogla višenamjenski koristiti, potrebno je projektirati i izgraditi više hidrotehničkih sustava i podsustava na slivu Trebižata. Ova ideja je stvorena prije stotinjak godina, a od tada se mijenjala i dopunjavala, a usporedo se ponešto i realiziralo. Davne 1895. godine izvršena je regulacija rijeke TMT kroz Ljubuško polje s popratnim nasipima što se i danas koristi. Radi povijesne vrijednosti, prilaže se mapa preuzeta iz knjige Philip Ballifa , 1896. godina, tiskane u Beču.

Zatim je 1945. godine prokopan tunel kroz brdo "Petnik" s regulacijskim zatvaračem, kapaciteta oko $50 \text{ m}^3 / \text{s}$, kojim se vrši djelomična odvodnja Imotsko-Bekijskoga polja da bi se intezivnije počelo raditi nakon sklopljena dogovora između tadašnje BiH i RH, 12. siječnja 1982. godine, kada je to objavljeno u Službenom listu R BiH.

Cilj je ovoga projekta da se vode s tog slivnog područja iskoriste za vodoopskrbu, navodnjavanje, rekreaciju, proizvodnju električne energije, ribogojilišta i druge usputne svrhe. Planirano je da se odvodni i navodni preko 12 000 ha obradivih površina, preko 120 000 stanovnika opskrbi pitkom vodom, četiri male hidroelektrane, izgrade

četiri vodne akumulacije, regulira više kilometara vodotoka i drugih vodoprivrednih objekata što se djelomično vidi iz priložene pregledne situacije i orijentacijskoga uzdužnoga profila sliva.

Tek kad se taj integralni projekt realizira, moći će se u punoj mjeri višenamjenski koristiti vodne akumulacije i upravljati vodama na cijelom slivu. Ovdje je bitno napomenuti da se pojedini objekti iz sustava planiraju i grade kao tehnološka cjelina, te se kao takvi puštaju odmah u rad, kao što je npr. akumulacija "Tribistovo" koja se već djelimično koristi.

Zaštita voda i životne sredine na projektiranju i realizaciji integralnoga projekta " Sliv Trebižat "

Iz dosad izloženog, može se zaključiti da je projekt "Sliv Trebižat" izuzetno atraktivan, a može se tvrditi i profitabilan, ali izuzetno kompleksan po vremenu projektiranja i građenja, te osiguranju financijskih sredstava. Prema gruboj procjeni, realizacija ovoga projekta košta preko 200 milijuna \$. Zbog toga se mora u svim fazama rada voditi posebna briga o tome kako će se to sve uklopiti u okoliš, u životnu sredinu biljnoga i životinjskog svijeta. Ovdje se mora istaći da je rijeka Tihaljina, Mlade i Trebižat sa svojim vodopadima Koćuša, Kravica i drugim prirodna ljepota pod zaštitom države, a to znači svakoga čovjeka. U projektu su već sada otkriveni glavni točkasti zagađivači, a to su gradovi Posušje, Imotski, Grude, Ljubuški i Čapljina. Zasad jedino Ljubuški ima uređaj za pročišćavanje na koji su svedene sve komunalne vode, kao i industrijske nakon predhodnoga tretmana u tvornicama. U drugim gradovima su uređaji u fazi projektiranja. Drugi je zagađivač poljoprivreda koja će inteziviranjem proizvodnje postati još veći zagađivač voda. U vezi se sa ovim problemom vrše istraživanja na temelju iskustva sa susjednim slivovima. Treći se veliki problem u porastu, a to je zagađivanje slivnoga područja odlaganjem čvrstoga otpada i drugih otpada, iskopinama boksita i drugim radnjama koje doprinose zagađivanju, naročito podzemnih voda. Mislim da se ti problemi zaštite voda moraju rješavati u obiteljima, školama, medijima, naročito stegovnim mjerama i naravno, izgradnjom sanitarnih odlagališta, uređaja za pročišćavanje, programiranjem korištenja umjetnih gnojiva i dr.

Uz prije navedeno, poznato je da svaki objekt koji se umjetno unosi u prirodnu sredinu ili u organizam izaziva, naročito u početku, narušavanje prirode ili organizma, bila to akumulacija, regulacija, hidroelektrana ili neki drugi objekt. Te probleme treba rješavati timski, sa stručnjacima potrebnih profila i znanja. Nažalost, na svim nam razinama nedostaje stručnoga kadra. Međutim, sigurno je da se i s kadrom kojim raspoložemo može puno učiniti, ako se znanstvenici, uz ostalo, budu bolje nagrađivali za svoj rad.

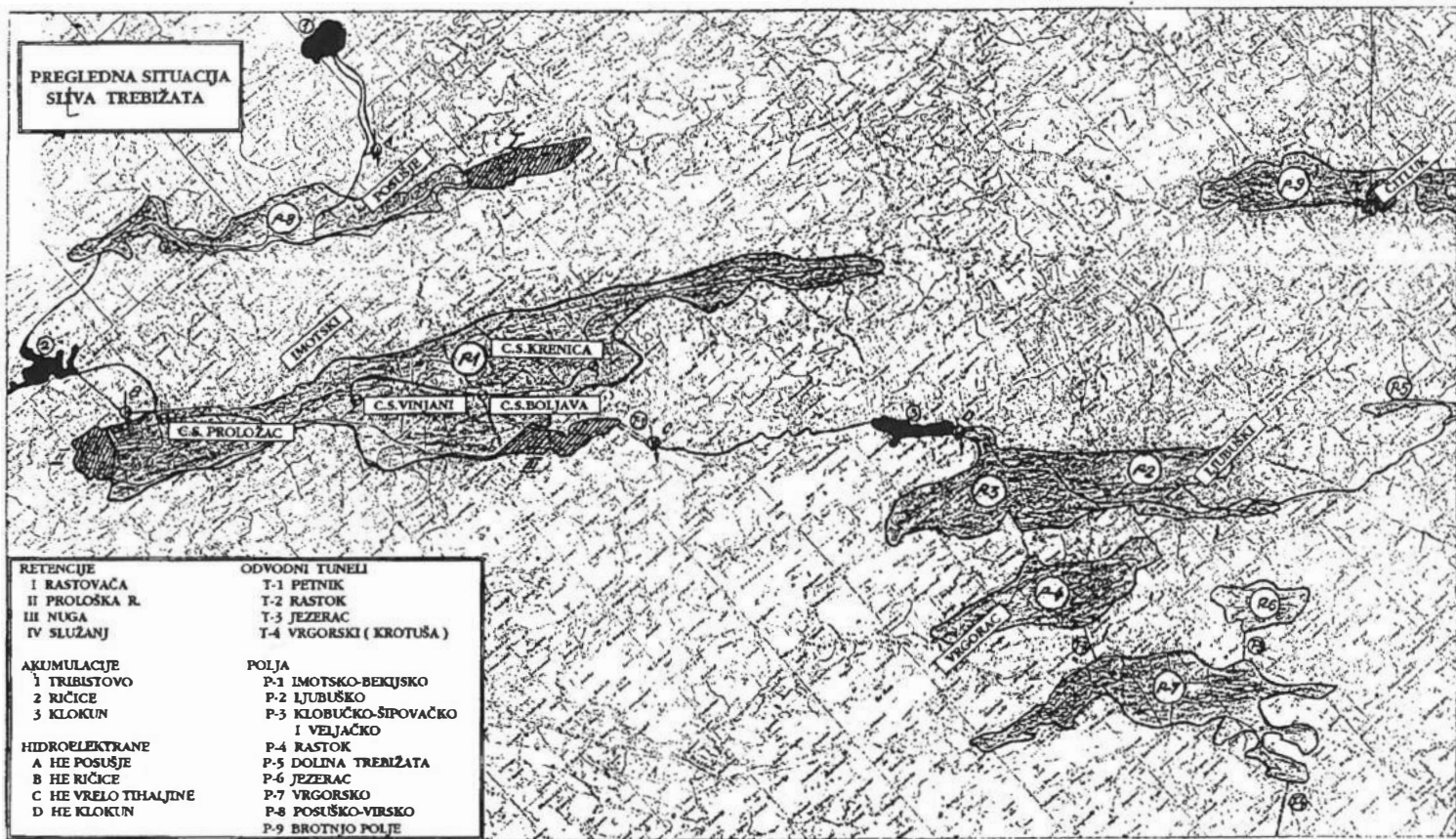
Zaključak

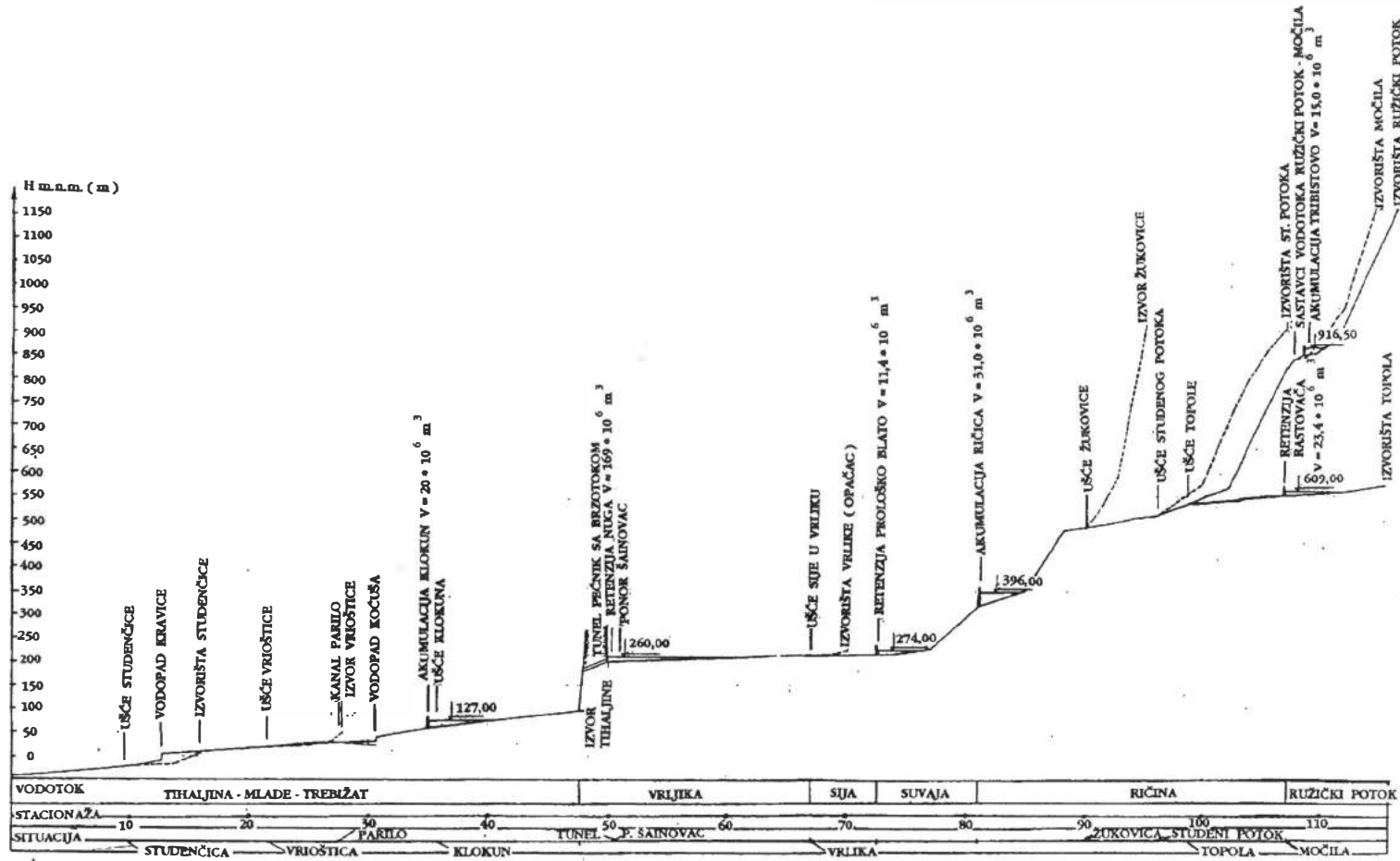
1. Na slivu Trebižata postoji mali broj lokaliteta na kojima se mogu ostvariti vodne akumulacije na tom dinarskome kršu.
2. Postojeće akumulacije, i one koje se planiraju, od životnog su interesa za okolno pučanstvo i njihovo gospodarstvo jer se mogu koristiti u različite svrhe, s obzirom da su locirane na visokim kotama i velikim padovima vodotoka. Voda se u njima stalno dopunjuje i obnavlja s obzirom na bogate padaline (u prosjeku 1 500 mm godišnje na slivu Trebižata), te brojna i izdašna krška vrela.
3. Prilikom planiranja akumulacija treba voditi brigu o veličini površina koje one potapaju, jer je na prostorima krša obradiva zemljišta relativno malo.

4. Slivno područje Trebižata treba štititi od zagađivanja jer se time štite i akumulacije od moguće autrofije, te omogućava njihovo višenamjensko korištenje.

Literatura

1. Ballif, P.: Waswrbauten in Bosnien und der Hercegovina, Wien 1896
2. Goluža, M.: Pročišćavanje i dispozicija otpadnih voda u kršu - magistarski rad, Zagreb 1980.
3. Goluža, M.: Optimalizacija hidrotehničkih melioracija na kršu - doktorska disertacija, Zagreb 1991.
4. Komatina, M.: Hidrogeološke odlike slivova centralnodinarskog karsta, Beograd 1975.
5. Petrik, M.: Karakteristike voda na Dinarskom kršu, Zagreb 1969.
6. Zavod za vodoprivredu Sarajevo, Vodoprivredna studija i projektna dokumentacija sliva rijeke Trebižat, 1982. do 1988.



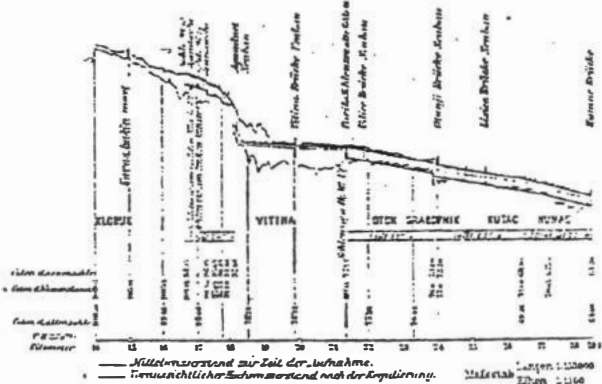


ÜBERSICHTS-SITUATION
des Meliorationsgebietes
in der Mladeebene und im Rastok.

Tafel II.



ÜBERSICHTS - LAENGENPROFIL
der Mlade-Regulierung.



Geograph. Anstalt v. E. Wagner & E. Dubas in Leipzig

PREGLEDNA SITUACIJA MELIORACIJE PODRUČJA
OKO RJEKE MLADE I RASTOKA (1895 GOD.)



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Anton Smoljo

R 6-13

Analiza mogućnosti akumulacije "Bregana" u osiguranju potrebnih voda

SAŽETAK: *U radu se daje skraćeni prikaz općeg pristupa u projektiranju i korištene metodologije u analiziranju mogućnosti i opravdanosti višenamjenskog korištenja površinskih voda sliva vodotoka Bregane u blizini Samobora i Zagreba. Prikazana je osnovna karakteristika korištenog determinističkog matematičkog modela, osnovne karakteristike formiranog hidrološkog sliva Bregane, te na kraju osnovni rezultati izvršenog posla.*

KLJUČNE RIJEČI: *historijski niz, sintetički niz, godišnja garantirana voda*

The Bregana Reservoir Capabilities to Supply Required Quantities of Water

ABSTRACT: *The paper gives a brief description of the general design approach and methodology used in analyzing the possibilities and justification of the multipurpose utilization of the Bregana creek (near Samobor and Zagreb) catchment area surface waters. The basic characteristics of used deterministic mathematical model are described along with the basic characteristics of the formed Bregana catchment area. The basic results of the completed work are presented.*

KEY WORDS: *historical series, synthetical series, guarantee annual water*

1. Uvod

Jedan je od načina osiguranja neophodnih količina vode za potrebe vodoopskrbe, poljoprivrede, energetike i očuvanja kvalitete vodotoka izgradnja akumulacija na vodotocima. Pritom je jedan od osnovnih zadataka određivanje zapremina potrebnih za osiguranje zahtjevanih količina vode. Oblici potrošačkih zahtjeva za vodom bitno ovise o namjeni korištenja voda. Određivanje godišnje garantirane vode, odnosno količine vode koja se tokom eksploatacije akumulacije može garantirati bez manjka korisnicima, predstavlja važan zadatak.

Izgradnja akumulacija zahtijeva velika investicijska ulaganja, pa se određivanje optimalnih dimenzija i sama lokacija izgradnje akumulacije ne može uspješno riješiti bez primjene metoda sistemskih analiza i računala.

Vodotok Bregana pritok je Save uzvodno od Zagreba sa slivom u prostoru Zagrebačke županije zapadno od grada Zagreba. Slivna površina od 85 km² s prosječnom visinom od 500 m n.m., prosječnom godišnjom oborinom od 1300 mm i vrlo značajnim prosječnim otjecanjem od 1,46 m³/s zadržala je svoje izrazito prirodne karakteristike bez obzira na neposrednu blizinu urbanom i industrijskom području regije Samobora i Zagreba.

Time je potencirano ispitivanje o mogućnosti i efektima oplemenjivanjima i regulacije velikih i malih voda, te mogućnosti djelomičnog pokrivanja potencijalnih zahtjeva za vodom i energijom u gravitirajućem području.

U zatečenoj situaciji, s jedne strane sve većih zahtjeva za vodom, i s druge strane sve izrazitijeg pomanjkanja s čim treba dugoročno računati, razumljiv je interes i za vode ovoga sliva uz neophodnu nužnost zaštite prostora uz mogućnosti njegovog korištenja na način koji nije i neće biti opasnost za očuvanje njegove prirode.

U ovom tekstu izloženi su osnovni ciljevi, metodologija i osnovni rezultati analiza mogućnosti akumulacije "Bregana" u osiguranju potrebnih voda. Kako se raspolagalo malim nizom mjesečnih protoka vodotoka Bregana na profilu Koretići, ovaj je niz produžen na osnovi bliskih vodomjernih stanica (Bregana - Remont) pa je dobiven historijski niz protoka 1969.-1985. Za dimenzioniranje akumulacija ova dužina niza nije dovoljna, pa je zaključeno da je potrebno generirati duži niz mjesečnih protoka zbog mogućnosti pojave uvjeta koji se nisu pojavili, ali koji vrlo vjerojatno mogu nastupiti u toku korištenja akumulacije. Za potrebe ovih analiza usvojen je 50-godišnji ekonomski vijek akumulacije, da generirani sintetički niz od 1000 godina može dovoljno dobro poslužiti za donošenje važnih odluka za dimenzioniranje akumulacije u ovoj fazi projektiranja.

2. Osnovni ciljevi

U okviru općega cilja postavljeni su sljedeći konkretni zadaci:

- odrediti godišnju garantiranu vodu koju akumulacija "Bregana" može osigurati za odabrane dimenzije akumulacije
 - a) za historijski niz mjesečnih protoka
 - b) za generirani niz mjesečnih protoka od 1000 godina
 - c) za 20 50-godišnjih generiranih nizova i na osnovi tih rezultata odrediti vjerojatnosti godišnje garantirane vode
- odrediti stupanj osiguranja po količini, trajanju i povratnome periodu za odabrane zapremine akumulacije i zahtjeva za vodom
 - a) za historijski niz
 - b) za generirani niz od 1000 godina
 - c) za 20 50-godišnjih nizova i na osnovi tih rezultata odrediti vjerojatnosti stupnjeva osiguranja
- s ciljem dobivanja preliminarne podloga za analize korištenja akumulacije za obranu od poplava, na osnovi rezultata simulacije rada akumulacije, odrediti vjerojatnosti nivoa vode u akumulaciji po mjesecima za odabrane dimenzije akumulacije i zahtjeva za vodom
 - a) za historijski niz
 - b) za generirani niz od 1000 godina

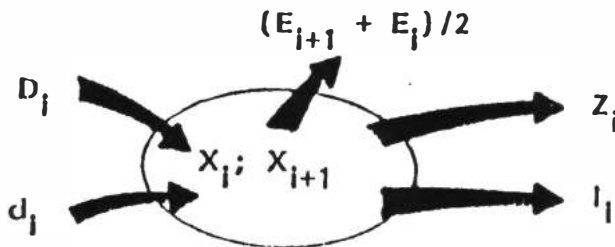
3. Metodologija obrade

Sistematizirani podaci i informacije iz prethodnih radnji obrađeni su matematičkim modelom RESOP. Program je razvijen u Odboru za razvoj vodoprivrede savezne države Texas, USA i namijenjen je za:

- simulaciju i analizu rada akumulacije s determinističkim određenim nereguliranim dotokom evaporacijom i proizvoljnim potrošačkim zahtjevima u mjesečnim intervalima diskretizacije

- određivanje godišnje garantirane količine vode koju akumulacija može osigurati, te za određivanje ovisnosti zapremine akumulacije i godišnje garantirane vode (pod garantiranom količinom vode podrazumijeva se godišnja količina vode koja se može osigurati iz akumulacije određene veličine, bez manjkova ili pražnjenja ispod zadana minimalnoga nivoa)
 - određivanje količina, trajanja i čestote manjkova, odnosno stupnjeva rizika i stupnjeva osiguranja kod zahtjeva iz akumulacije različitih od njene godišnje garantirane vode, te za određivanje zavisnosti zapremine akumulacije veličine i raspodjele zahtjeva i stupnjeva osiguranja u zadovoljavanju tih zahtjeva
 - određivanje čestote i vjerojatnosti stanja nivoa u akumulaciji, te zavisnosti zapremine akumulacije veličine i raspodjele zahtjeva za vodom iz akumulacije i vjerojatnosti stanja - nivoa u akumulaciji
 - ispitivanje različitih alternativa u pogledu: lokacije, namjene, dimenzija, troškova i dobiti od planirane akumulacije, kao podloga za donošenje odluka o njenoj izgradnji
- U istom prolazu program analizira jednu akumulaciju ili niz akumulacija u rednome rasporedu, a može se koristiti sukcesivno u analizi skupa akumulacija povezanih riječnim gravitacijskim tokovima.

Osnovni algoritam matematičkoga modela baziran je na jednadžbi bilansa vode po diskretnim vremenskim intervalima:



$$x_{i+1} = x_i + D_i + d_i - (E_{i+1} + E_i)/2 - z_i - l_i$$

gdje je:

x_i = količina vode na početku i-tog diskretnog intervala (mjeseca)

D_i = dotok (neregulirani) u i-tom mjesecu

d_i = dotok (regulirani) iz uzvodne akumulacije u i-tom mjesecu

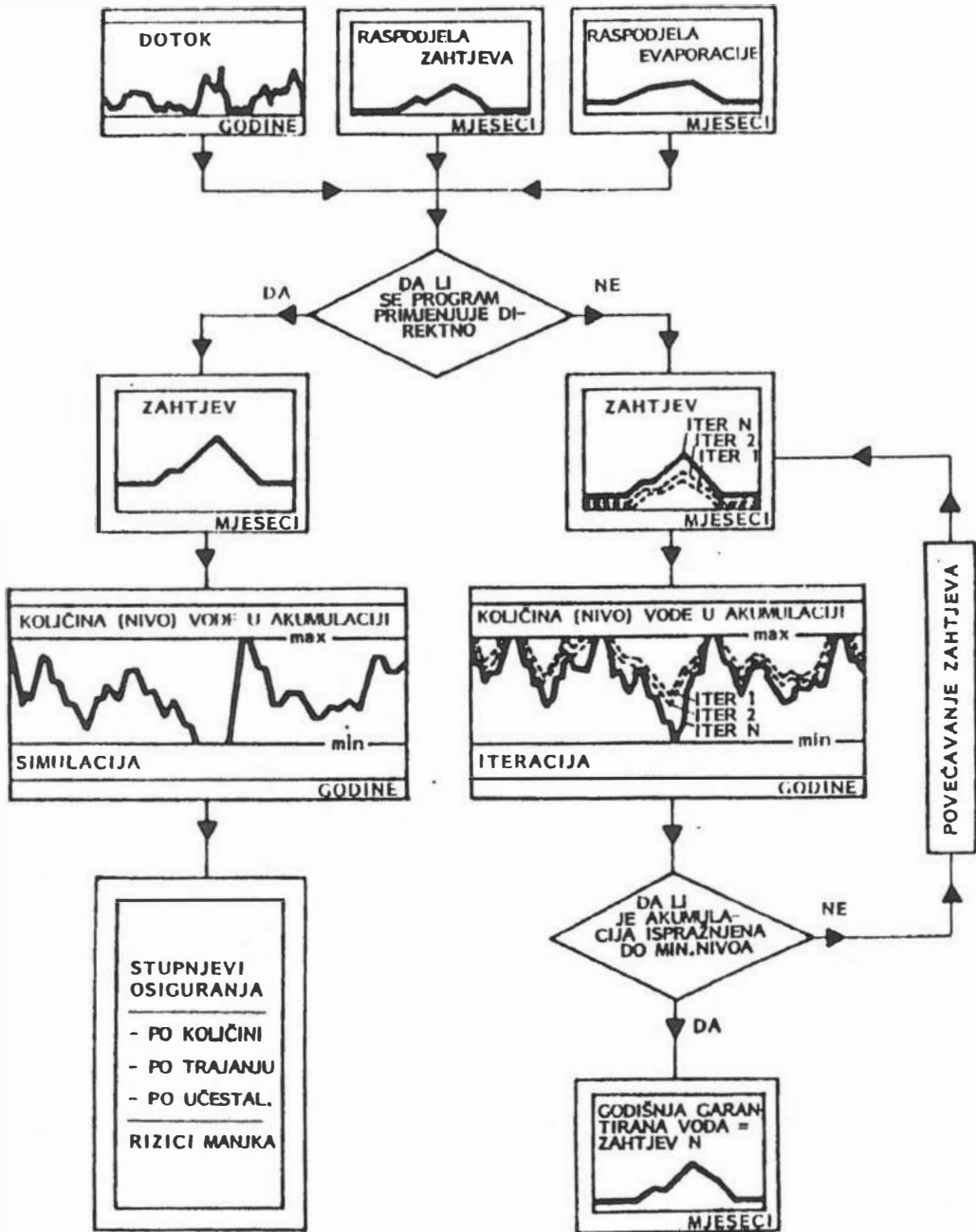
E_i = evaporacija u i-tom mjesecu

z_i = zahtjev za vodom u i-tom mjesecu

l_i = ispuštanje iz akumulacije u i-tom mjesecu

U direktnoj primjeni programa simulira se rad akumulacije određene zapremine u uvjetima poznatoga dotoka (D , d), poznatih mjesečnih koeficijenata evaporacije (E) i poznatih zahtjeva i ispuštanja (Z , l). U takvoj se primjeni evidentiraju simulirana stanja u akumulaciji i manjkovi u ispunjenju zahtjeva nižega prioriteta, te se određuju vjerojatnosti stanja i stupnjevi osiguranja isporuke traženoga zahtjeva.

U inverznoj primjeni iterativno se koristi direktna primjena i određuje maksimalna garantirana količina vode u promatranome vremenskom intervalu pod pretpostavkom fiksnoga kapaciteta akumulacije, te u slučaju više u nizu zadanih akumulacija program izračunava godišnju garantiranu vodu i određuje ovisnost godišnje garantirane vode od zapremine akumulacije.



Slika 3.1. Shema postupka primjene programa RESOP

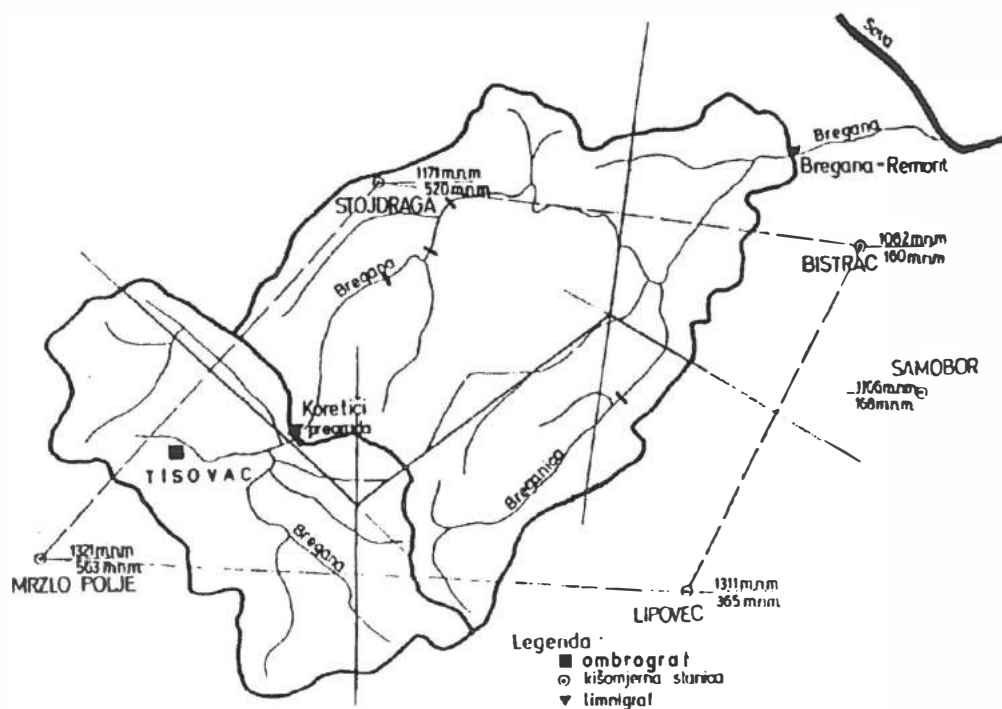
4. Osnovni rezultati

Analizom akumulacijskih sposobnosti u slivu Bregana s gledišta aktualnih topografskih, hidrografskih, geoloških, hidroloških i građevinskih općih uvjeta, preliminarno su identificirane i ispitivane četiri potencijalne akumulacije (sl. 4.1.). Najbolje karakteristike po svim ispitivanim kriterijima imala je akumulacija "Bregana" s pregradnim profilom kod Koretića, sl. 4.2. Topografija sliva Bregane, kao i njegova hidrografska mreža, razvedena je na površini od približno 85,00 km² (u profilu limnigrafa Bregana - Remont) s prosječnom visinom od približno 500,00 m n.m. i rasponom visina od 155,00 do 870,00 m n.m. (sl. 4.3.). Slivnoj površini za hidrološki profil Bregana - Remont gravitira šest meteoroloških stanica:

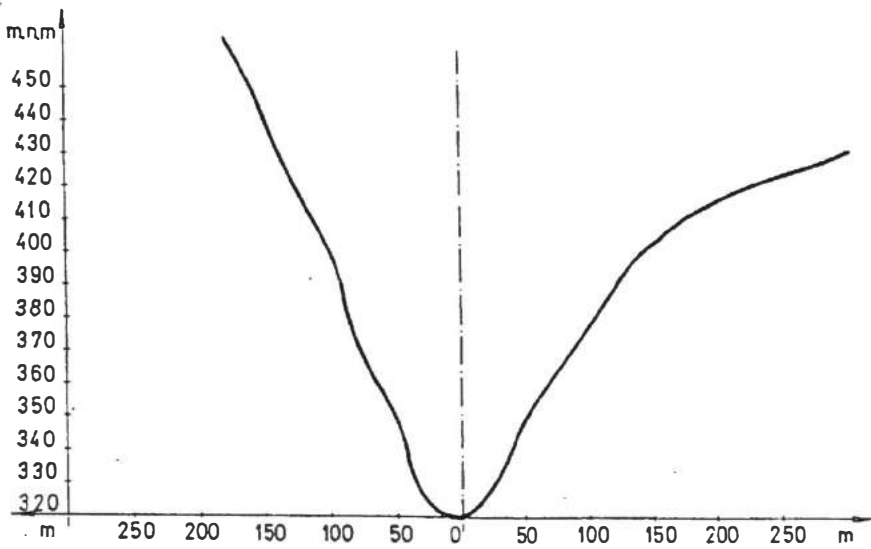
- kišomjer Bistrac (160,00 m n.m.) - početak rada 1952.g.
- kišomjer Lipovac (365,00 m n.m.) - početak rada 1950.g.
- kišomjer Mrzlo Polje (563,00 m n.m.) - početak rada 1956.g.
- kišomjer Samobor (168,00 m n.m.) - početak rada 1925.g.
- kišomjer Stojdraga (520,00 m n.m.) - početak rada 1956.g.
- ombrograf Tisovac s početkom rada 1980.g., ali i čestim prekidima u radu.

U slivu su instalirane dvije hidrološke stanice:

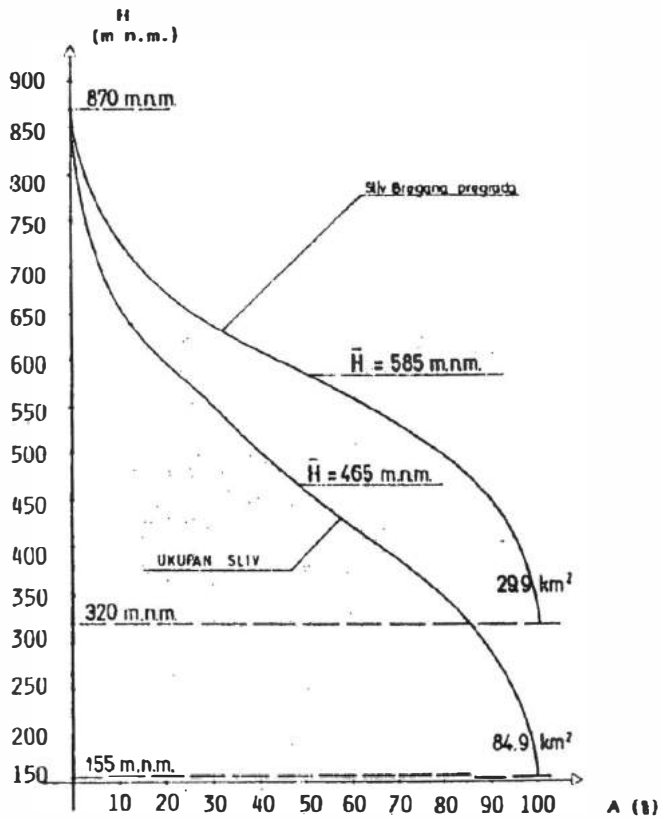
- limnigraf Bregana - Remont (početak rada 1969.g.)
- limnigraf Bregana - Koretići (početak rada 1980.g.)
(dispozicija stanica shematizirana je u slici 4.1.)



Slika 4.1. Situacija sliva Bregana s Thiessen-ovim poligonom, hidrološkim profilima i ispitivanim profilima za akumuliranje površinskih voda



Slika 4.2. Pregradni profil akumulacije "Bregana" kod Koretića



Slika 4.3. Hipsometrijske krivulje sliva Bregana za hidrološke profile Bregana-Remont i Bregana-Koretići

Model potrošačkih zahtjeva potencijalnih korisnika akumulacije "Bregana" i ukupnoga hidrosustava predstavlja superponiranu vremensku (sezonsko-mjesečnu) raspodjelu zahtjeva pojedinačnih korisnika. Konkretnom vremenskom raspodjelom zahtjeva iz akumulacije obuhvaćeni su tipski modeli mogućih korisnika:

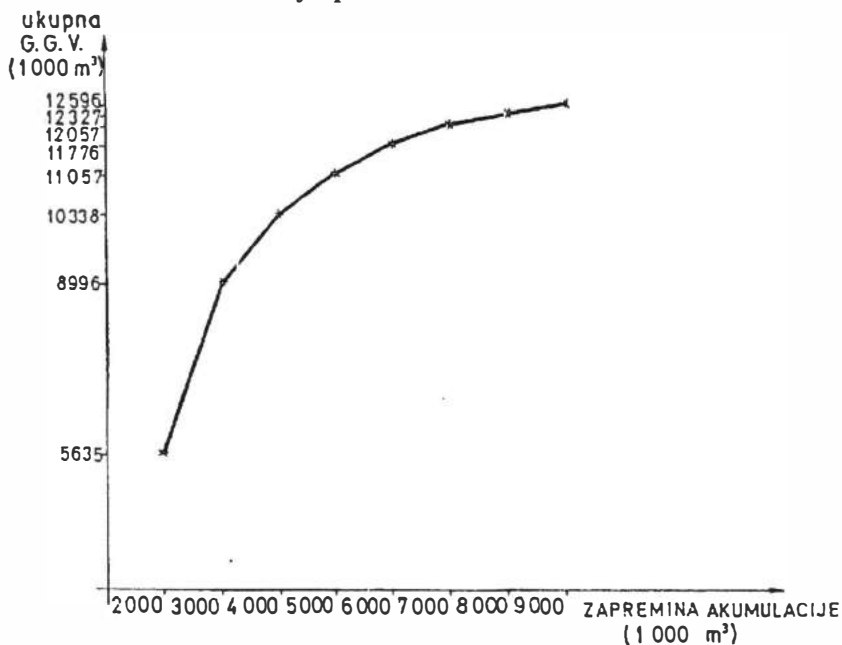
- održavanje režima malih voda, kvalitete vode i biološkog minimuma (prioritet)
- vodoopskrba domaćinstava i industrije
- poljoprivreda
- hidroenergija (mini elektrana za korištenje raspoloživog prirodnog pada i izlaznog protoka)

Određivanje godišnje garantirane vode iz planirane akumulacije "Bregana" izvedeno je za:

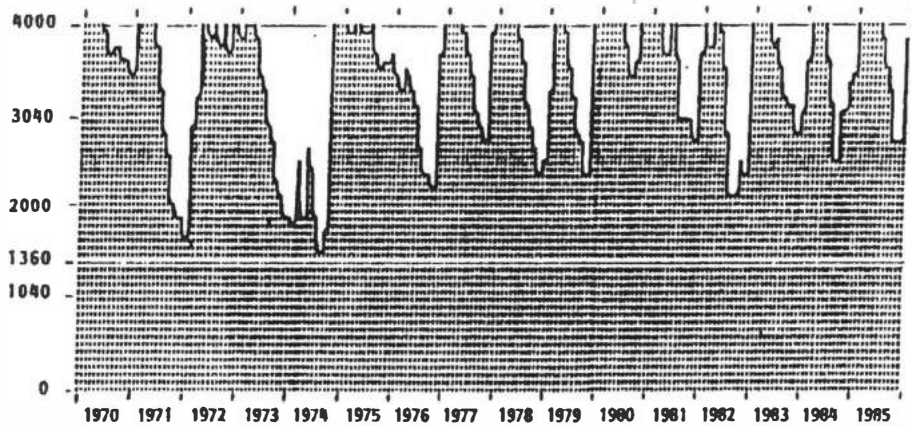
- osam i tri ispitivane zapremine ukupnoga akumulacijskoga prostora u rasponu od ($2,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ - $9,0 \times 10^6 \text{ m}^3$) i od ($3,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ - $5,0 \times 10^6 \text{ m}^3$) za:
- jedan osnovni historijski niz mjesečnih dotoka
- dvadeset generiranih 50-godišnjih sintetičkih nizova mjesečnih dotoka
- jedan suponirani 1000-godišnji sintetički niz mjesečnih dotoka
- jedan prioritetan zahtjev za biološki minimum određen s

$Q = \text{const.} = 100 \text{ l/s}$ u kombinaciji s jednim superponiranim sezonsko-mjesečnim promjenljivim zahtjevom za vodom iz akumulacije

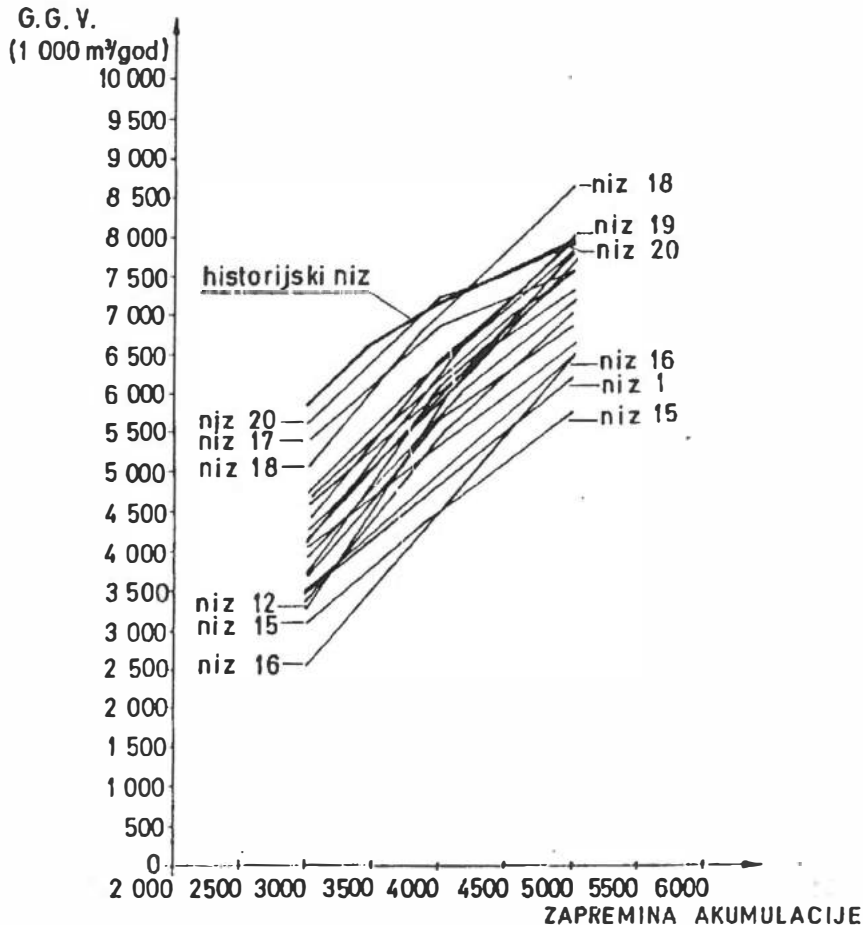
Neki osnovni rezultati, odnosno dobivene veličine godišnje garantirane vode iz akumulacije u funkciji ukupne zapremine akumulacije i u odnosu s vjerojatnošću premašenja ove godišnje garantirane vode, izvedeni za sve ispitivane zapremine, dotoke i zahtjeve za vodom iz akumulacije, prikazane su na slikama: 4.4., 4.5., 4.6. i 4.7.



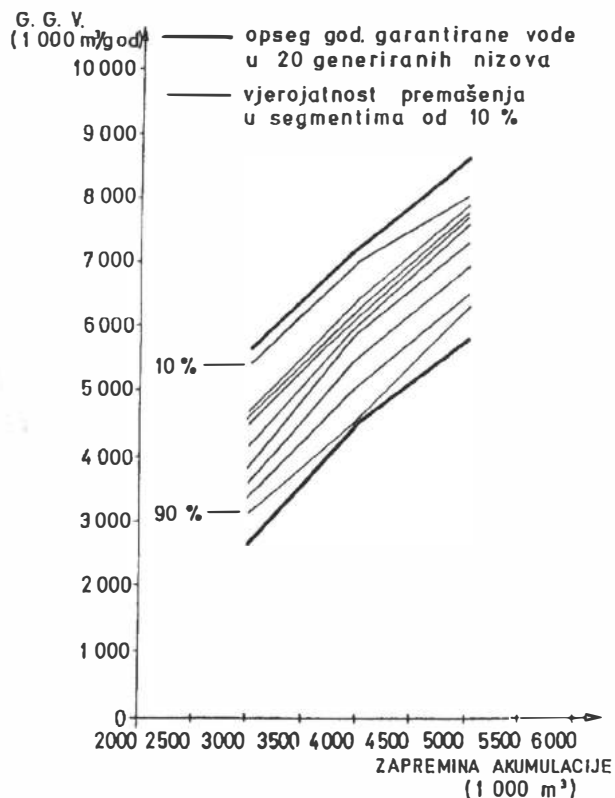
Slika 4.4. Godišnja garantirana voda iz akumulacije "Bregana" u funkciji njezine ukupne zapremine (historijski niz mjesečnih dotoka - superponirana raspodjela zahtjeva)



Slika 4.5. Ilustracija iterativne procedure određivanja godišnje garantirane vode ($V = 4 \times 10^6 \text{ m}^3$ - historijski niz mjesečnih dotoka - superponirana raspodjela zahtjeva) – akumulacija Bregana



Slika 4.6. Godišnja garantirana voda iz akumulacije Bregana u funkciji njezine ukupne zapremine (historijski niz mjesečnih dotoka u rasponu 20 generiranih 50-godišnjih sintetičkih nizova - superponirana raspodjela zahtjeva)



Slika 4.7. Godišnja garantirana voda iz akumulacije "Bregana" u funkciji njezine ukupne zapremine i u odnosu s vjerojatnošću premašenja godišnje garantirane vode

Simulacija višenamjenskoga - višegodišnjega korištenja planirane akumulacije "Bregana" izvedena je za:

- četiri ispitivane ukupne zapremine akumulacijskoga prostora u rasponu od $3,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ do $5,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ za:
- jedan historijski niz mjesečnih dotoka
- dvadeset generiranih 50-godišnjih sintetičkih nizova mjesečnih dotoka
- jedan suponiran 1000-godišnji sintetički niz mjesečnih dotoka
- jedan prioritetan zahtjev za biološki minimum određen s $Q = \text{const.} = 100 \text{ l/s}$ u kombinaciji s superponiranom sezonsko - mjesečnom raspodjelom zahtjeva ostalih korisnika

Za svaku od ispitivanih zapremina akumulacijskog prostora, sa svakim od ispitivanih nizova mjesečnih dotoka u akumulaciji i svakom od ispitivanih veličina ukupnoga godišnjega zahtjeva iz akumulacije, određen je stupanj regulacije, godišnje prelijevanje, odnos prelijevanja/dotok, kao i prosječan godišnji manjak vode, broj mjeseci s manjkom vode i broj godina u kojima se pojavljuje manjak vode. Statističkom obradom ovih rezultata određeni su:

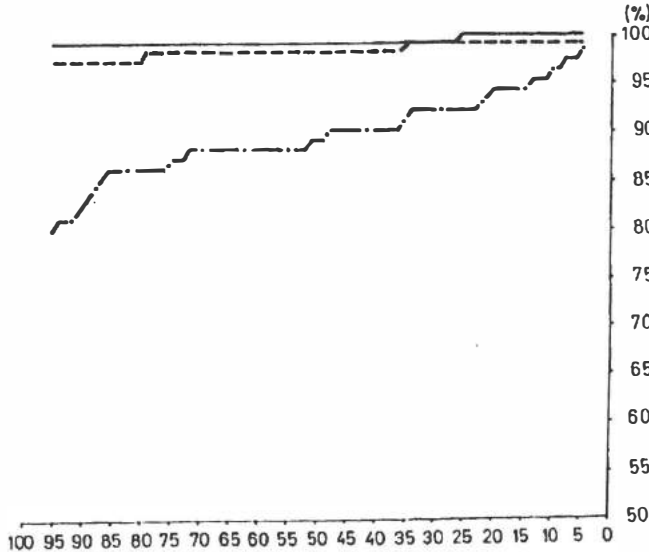
- stupnjevi osiguranja po količini, trajanju i povratnom periodu za sve ispitivane zapremine akumulacije, sve ispitivane zahtjeve i sve ispitivane nizove mjesečnih dotoka u akumulaciju

Zapre- mina	Zahtjev		Stupanj regulacije	Preljevanje 1.000 m ³ /g	Preljev./ dotok	Manjak 1.000 m ³ /g	Br. mjeseci s manjkom	Br. godina s manjkom	Stupanj osigur. (%)		
	10 ³ m ³ /g	l/s							Količ.	Traja- nje	Pov. period
3.000	6.000	190	0,79	4.299	0,32	3	2	2	99,95	98,96	87,50
	6.500	206	0,75	3.838	0,28	41	6	5	99,37	96,88	68,75
	7.000	222	0,72	3.412	0,25	112	12	6	98,41	93,75	62,50
	7.500	238	0,68	3.076	0,23	259	19	9	96,54	90,10	43,75
4.000	7.500	238	0,79	2.831	0,21	27	2	2	99,64	98,96	87,50
	8.000	254	0,83	2.433	0,18	114	12	5	98,57	93,75	68,75
	8.500	270	0,86	2.062	0,16	228	15	5	97,32	92,19	68,75
	9.000	285	0,90	1.750	0,13	400	23	8	95,56	88,02	50,00
4.500	8.000	254	0,83	2.350	0,17	38	2	1	99,53	98,96	93,75
	8.500	270	0,86	1.962	0,15	134	9	3	98,42	95,31	81,25
	9.000	285	0,90	1.601	0,12	257	14	6	97,14	92,71	62,50
	9.500	301	0,94	1.341	0,10	481	22	7	94,93	88,54	56,25
5.000	8.000	254	0,83	2.313	0,17	6	1	1	99,92	99,48	93,75
	8.500	270	0,86	1.883	0,14	61	3	2	99,28	98,44	87,50
	9.000	285	0,90	1.500	0,11	162	9	3	98,20	95,31	81,25
	9.500	301	0,94	1.179	0,09	326	15	6	96,57	92,19	62,50
Zapre- mina	Zahtjev		Stupanj regulacije	Preljevanje 1.000 m ³ /g	Preljev./ dotok	Manjak 1.000 m ³ /g	Br. mjeseci s manjkom	Br. godina s manjkom	Stupanj osigur. (%)		
	10 ³ m ³ /g	l/s							Količ.	Traja- nje	Pov. period
3.000	6.000	190	0,65	4.904	0,35	49	209	120	99,18	98,26	88,00
	6.500	206	0,69	4.440	0,32	84	325	176	98,71	97,29	82,40
	7.000	222	0,72	3.995	0,29	138	505	261	98,03	95,79	73,90
4.000	7.500	238	0,76	3.396	0,24	44	145	76	99,42	98,79	92,40
	8.000	254	0,80	2.930	0,21	76	243	125	99,06	97,97	87,50
	8.500	270	0,83	2.489	0,18	133	422	210	98,43	96,48	79,00
	9.000	285	0,87	2.085	0,15	229	671	306	97,46	94,41	69,40
4.500	8.000	254	0,80	2.892	0,21	39	125	64	99,51	98,96	93,60
	8.500	270	0,83	2.426	0,17	73	217	106	99,15	98,19	89,40
	9.000	285	0,87	1.992	0,14	136	400	180	98,49	96,67	82,00
	9.500	301	0,90	1.605	0,11	248	689	287	97,39	94,26	71,30
5.000	8.500	270	0,83	2.394	0,17	41	123	60	99,51	98,97	94,00
	9.000	285	0,87	1.939	0,14	85	248	111	99,05	97,93	88,90
	9.500	301	0,90	1.525	0,11	170	466	189	98,21	96,12	81,10

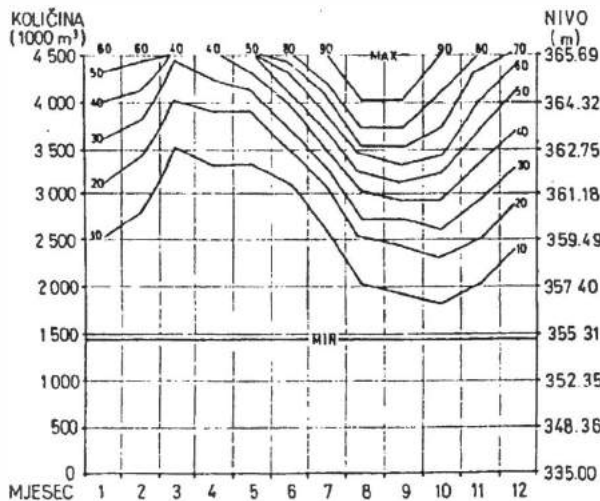
Slika 4.8. Stupnjevi osiguranja u korištenju akumulacije "Bregana" za historijski i suponiran 1000-godišnji sintetički niz mjesečnih dotoka

- vjerojatnosti premašenja stupnjeva osiguranja za sve ispitivane zapremine akumulacije i sve ispitivane zahtjeve od akumulacije iz dvadeset generiranih 50-godišnjih sintetičkih nizova mjesečnih dotoka u akumulaciju
- vjerojatnost stanja - nivoa vode u akumulaciju po kalendarskim mjesecima za sve ispitivane zapremine akumulacije za historijski i suponirani 1000-godišnji sintetički niz mjesečnih dotoka u akumulaciju

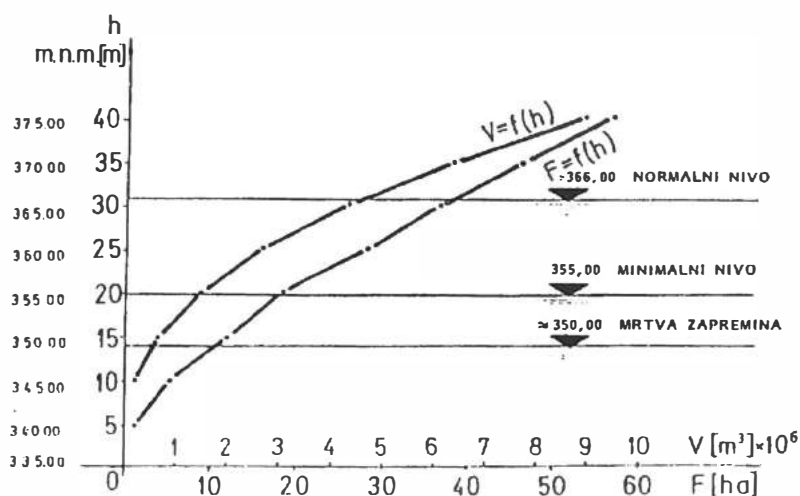
Sistematizacija dijela ovih rezultata data je grafički i tablično na slikama 4.8., 4.9. i 4.10.



Slika 4.9. Vjerojatnost premašenja stupnjeva osiguranja za zapreminu akumulacije od $4,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ zahtjeva od $8,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ iz 20 ispitanih generiranih 50-godišnjih sintetičkih nizova mjesečnih dotoka u akumulaciju



Slika 4.10. Vjerojatnost stanja-nivoa vode u akumulaciji za zapreminu akumulacije od $4,5 \times 10^6 \text{ m}^3$, zahtjev od $8,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ i suponiran 1000-godišnji sintetički niz mjesečnih



Slika 4.11. Karakteristične krivulje i karakteristični nivoi planirane akumulacije "Bregana" - Koretići

S formiranim modelom raspodjele zahtjeva iz akumulacije "Bregana" s ukupnom zapreminom od $4,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ (korisna zapremina od $3,0 \times 10^6 \text{ m}^3$) i visinom normalnoga nivoa od 366,00 m n.m., može se očekivati.

- godišnje garantira vode od $7,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ za historijski niz mjesečnih dotoka s vjerojatnošću premašenja od $P = 10\%$ (iz 20 generiranih 50-godišnjih sintetičkih nizova) ili

$$5,0 \times 10^6 \text{ m}^3 + 3,15 \times 10^6 \text{ m}^3$$

za generirani 50-godišnji sintetički niz br.15 s vjerojatnošću premašenja od $P = 99\%$ (iz 20 generiranih 50-godišnjih sintetičkih nizova)

- godišnja voda od $8,5 \times 10^6 \text{ m}^3 + 3,15 \times 10^6 \text{ m}^3$ za historijski niz mjesečnih dotoka (iz 20 generiranih 50-godišnjih nizova)

sa stupnjevima $P_k = 98,42\%$ i vjerojatnosti $PR_k = 99\%$

osiguranja $P_t = 95,31\%$ premašenja $PR_t = 98\%$

$P_p = 81,25\%$ $PR_p = 95\%$

ili

sa stupnjevima $P_k = 99,15\%$ i vjerojatnosti $PR_k = 50\%$

osiguranja $P_t = 98,19\%$ premašenja $PR_t = 50\%$

$P_p = 89,40\%$ $PR_p = 50\%$

i vjerojatnost stanja - nivoa u akumulaciji za suponiran 1000-godišnji sintetički niz (iz 20 generiranih 50-godišnjih sintetičkih nizova) (slike 4.8., 4.9. i 4.10.)

Literatura

1. Analiza mogućnosti akumulacije "Bregana" u osiguranju potrebnih voda (Idejno rješenje) - "Hidroprojekt", Zagreb, 1988.
2. Analiza mogućnosti akumulacije na Pakri u osiguranju potrebnih voda (studija) - "Hidroprojekt", Zagreb, 1980.
3. Vodoopskrba Samobora (studija) - "Hidroprojekt", Zagreb, 1980.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Predovan Nade, dipl. ing. građ.

R 6-14

Supstitucija Novigradskog mora akumulacijom rijeke Zrmanje

SAŽETAK: Sjeverna Dalmacija ima 161.000 ha poljoprivrednih površina koje su - zbog deficita vlage u periodu vegetacije - slabo iskoristive. Mogućnost izgradnje preko 350.000 turističkih ležaja na 1150 km kopnene i otočne obale, koliko ima ova regija, predstavlja samo je potencijalno prirodno bogatstvo bez trajnih i obilatih količina vode.

Akumulacija voda rijeke Zrmanje, čija je godišnja bilanca 1,26 milijardi kubika u prosječnoj hidrološkoj godini, osigurat će izobilje vode za potrebe poljoprivrede, turizma i stanovništva praktično za neograničeno vrijeme.

KLJUČNE RIJEČI: supstitucija, voda, rijeka Zrmanja, Novigradsko more, Novigradska akumulacija, poljoprivreda, turizam

The Novigrad Sea Substitution with the Zrmanja River Reservoir

ABSTRACT: The Northern Dalmatia has 161,00 ha of arable land which is poorly utilised due to the lack of humidity during the period of growth. There is a possibility for construction of accomodation for over 350,000 tourists on 1,160 km of available land and island coast in this region which is only a potential natural capital without permanent and abundant quantities of water.

The Zrmanja River reservoir with an annual water balance of 1.26 billion cu.m. in an average hydrological year will provide abundant quantities of water for agricultural purposes, tourism and general consumption for practically unlimited period of time.

KEY WORDS: substitution, water, the Zrmanja River, the Novigrad Sea, the Novigrad reservoir, agriculture, tourism

1. Uvod

Grčki filozof Tales iz Mileta još je u 6.st.p.n.e. utvrdio da "...sve stvari potječu iz vode...". I zaista, tek kad vode nema, vidimo da nema mnogih stvari, pa ni života!

Na cjelokupnoj Zemljinoj površini čovjeku je dostupno 30.000 km³ vode za različitu uporabu, a i ta se zaliha stalno degradira. Teoretski, po stanovniku Zemlje, to je još uvijek imponzantna količina od 14,00 m³ na dan, ali s obzirom na veoma neravnomjernu raspodjelu, to je doista samo teoretski. Hrvatska raspolaže s 5600 m³ vode po stanovniku godišnje, što je ccr. 15 kubika dnevno, tek malo više od svjetskoga prosjeka. Prosječno godišnje vodni resursi sjeverne Dalmacije iznose oko 1,50 milijardu m³, od čega preko 1,2 milijarde kubika utječe u more u vremenu jesen-proljeće.

Od izgradnje Trajanova vodovoda s Vrane 115 god., dva stoljeća prije poznatog Dioklecijanovog vodovoda, do danas, Zadar je uvijek živio na "rubu žedi". Sve do 1902. god., nepunih 18 stoljeća, potrošnja se zadržavala na ccr 40 l/s, da bi zatim bila smanjena na 27 l/s sve do 1953. god. Od tada slijedi znatniji kontinuiran porast, tako da je 1990. god. potrošnja iznosila prosječno 900 l/s., da bi se - zbog okupacije izvorišta Zrmanja tokom ljeta svela na svega 200 l/s.

Racionalno iskoristive količine vode na prostoru sjeverne Dalmacije iznose 50 do 60 milijuna kubika godišnje, što i nije zanemarivo ako se uzmu u obzir samo potrebe stanovništva. Problem je u činjenici što je izdašnost tijekom ljeta u osjetnoj disproporciji s potrebama i što su te količine disperzirane na mnogo manjih izvorišta. Za razvoj turizma i poljoprivrede, dviju fantastično potencijalnih gospodarskih grana ove regije, nužne su, međutim, mnogo veće količine vode, i to u razdoblju od maja do rujna mjeseca.

Poruka je svima nama jasna: treba akumulirati svaku racionalnu količinu.

2. Gospodarski resursi sjeverne Dalmacije

a/ Stanovništvo

Broj stanovnika regije (bivše općine Benkovac, Biograd, Obrovac i Zadar) na posljednjem je popisu 1991.god. iznosio 199.161. U zadnjoj dekadi prirast je bio 1,011% i, ako bi se on prihvatio kao mjerodavan, 2000. godine bilo bi 220.000, a 2050. god. 387.000 stanovnika. Prema prognozama FAO-a, 1993. god. na Zemlji je živjelo 5,6 milijardi ljudi, procjenjuje se da će 2025. god. biti 8,5, a 2050. god. čak 10 milijardi. Po toj stopi, broj bi stanovnika u ovoj regiji iznosio 2050. god. 358.000. U svrhu ovog prezentiranja uzet ćemo varijantu s maksimalnim prirastom, po kojoj će u regiji 2050. god. biti oko 390.000 stanovnika.

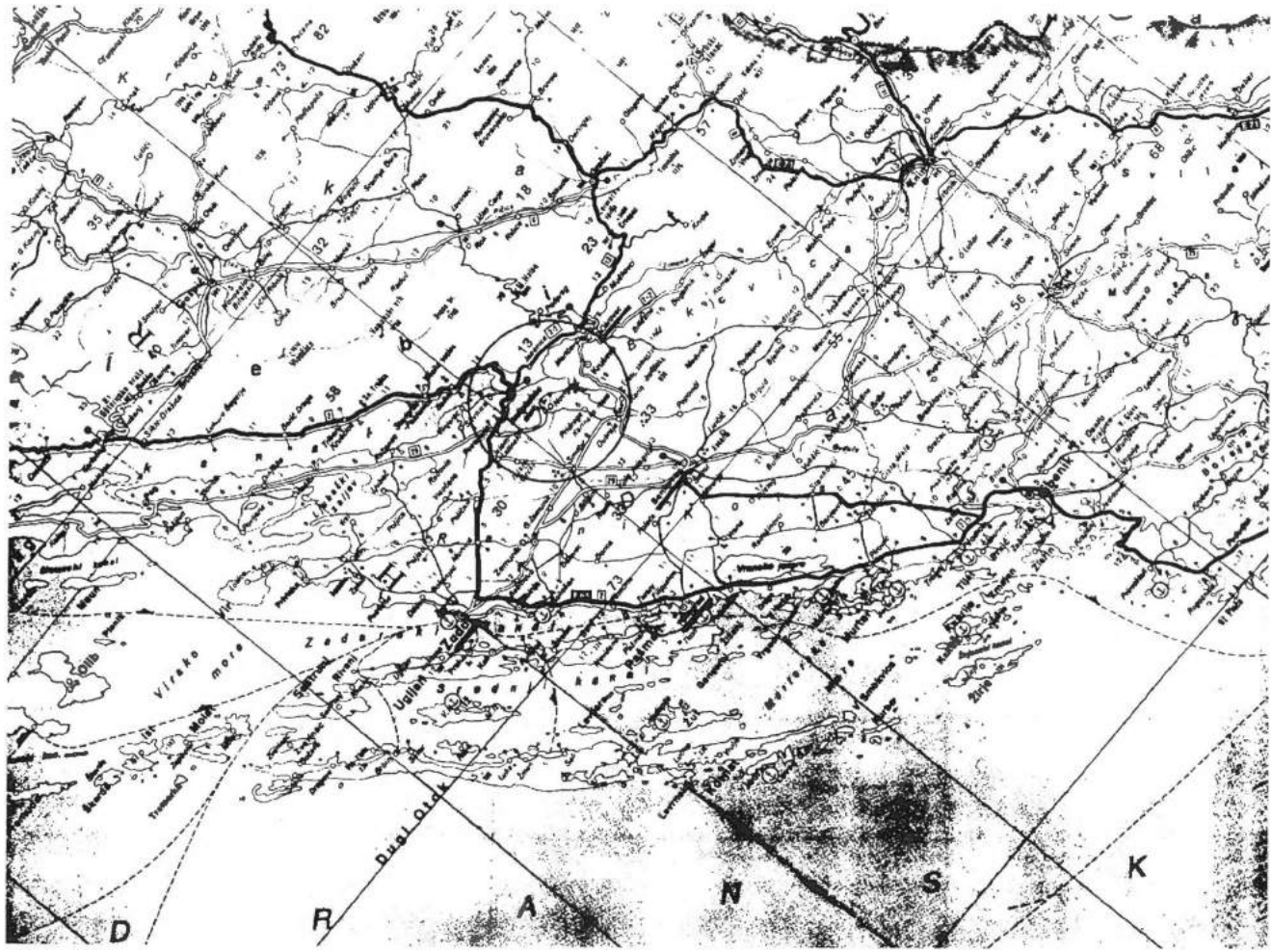
b/ Poljoprivredni potencijali

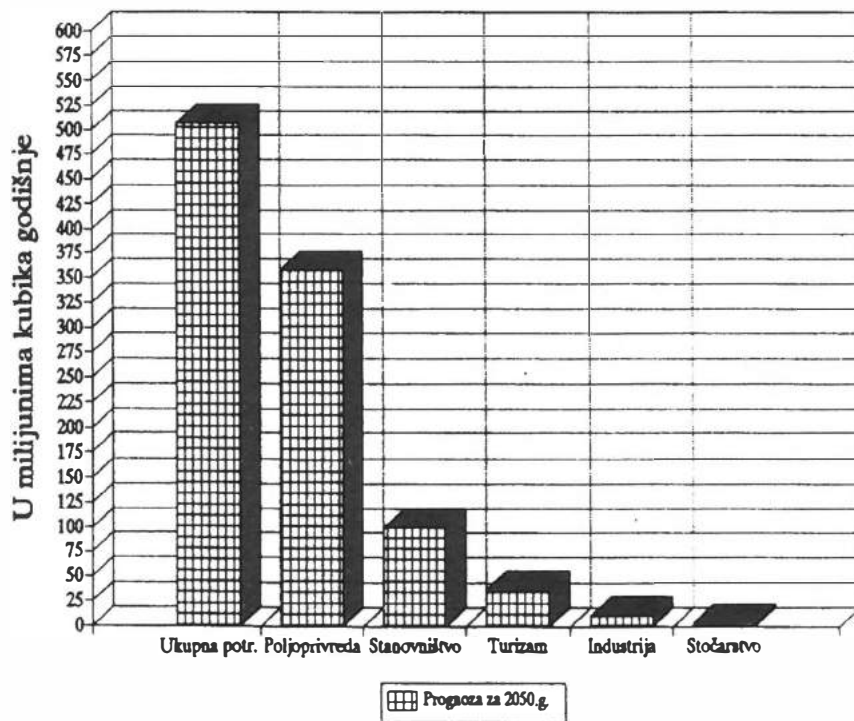
Područje zadarske regije zauzima površinu od 2.502 km², što čini 4,40% površine RH. Geografska osobina područja je niska, blago valovita i u dinarskom smjeru izdužena oblast, u kojoj ima oko 65% poljoprivrednih i 35% kraških površina. U uvjetima aridne klime, naročito u vegetacijskom razdoblju, efekti su poljoprivredne proizvodnje skromni. Prosječna godišnja temperatura iznosi 15,3°C, a prosjek od V. - IX. mjeseca je 20,4°C. Oborine se kreću u rasponu od 612 do 1063 mm godišnje, s izrazito suhim periodom V do IX mjeseca kad deficit vlage iznosi 325 mm, odnosno 3.250 m³/ha u prosječnoj hidrološkoj godini. Vrijeme trajanja vegetacije je 250 do 300 dana godišnje, a broj je sunčanih sati preko 2.600, što čini idealne uvjete za brz rast i kvalitetno dozrijevanje svih vrsta poljoprivrednih kultura. Dugo sušno razdoblje u doba vegetacije i dozrijevanja poljoprivrednih usjeva u pravilu svake godine obezvrjeđuje goleme napore vrijednih poljoprivrednika sjeverne Dalmacije.

Poljoprivredne površine regije 1985. god. u hektarima su iznosile: Benkovac 51.960, Biograd 14.994, Obrovac 24.589, Zadar 70.316, ukupno 161.859 ha (vidi graf 1.).

Preko 70% je obradivih površina pod oranicama i taj postotak stalno raste. Od svih obradivih površina natapa se 5.971 ha, ili 13%, ali sa znatno smanjenom normom navodnjavanja. Razlike u prinosima ipak su mnogostruke, što je i razumljivo ako se zna koliki je nedostatak vlage u vremenu vegetacije.

Od ukupno se 161.859 ha poljoprivrednih površina sad obrađuje 47.168 ha, a procjenjuje se da bi bilo racionalno, uz mogućnost navodnjavanja, obrađivati min. 110.000 ha. Za visoko produktivnu i organiziranu proizvodnju, među ostalim je nužno izvršiti komasaciju zemljišta, djelomičnu melioraciju, rajonizaciju i izgraditi sustav natapanja obradivih poljoprivrednih površina.





Graf 1.

Na području regije ima 19.000 seoskih domaćinstava što znači da prosječna veličina obradiva posjeda iznosi 5,80 ha. Zemljište i klima pogodni su za uzgoj voća, povrća, vinskoga i sortnoga grožđa, stočne krme, dalmatinske maraske, maslina, badema, duhana, cvijeća itd.

c/ Mogućnost i razvoja turizma

Naša je obala Jadranskog mora, čija ukupna dužina na kopnu i otocima iznosi 5.709,1 km, s 1118 otoka, otočića i hridi, među najatraktivnijim obalama svjetskih mora, u Europi je bez premca. Razvedena dužina obale zadarske regije iznosi 1.150 km, od kojih je 257 km kopnena obala. To je 20% ukupne dužine obale naše države. Na području regije ima 178 otoka, od kojih je 19 naseljenih. S kornatskim arhipelagom u susjedstvu, koji broji 125 otoka, na dužini od 65 Nm nalazi se najveća i najljepša skupina otoka u Europi. S prosječnom temperaturom zraka u pet ljetnih mjeseci od 22,5°C, morem besprijekorne čistoće, temperature od 20 do 25°C, naša će obala brzo postati centralno more odmora za većinu europskih turista.

Na samo 10% obale regije, na kopnu i na otocima, moguće je - teoretski - izgraditi preko 350.000 turističkih ležaja, pretežno visokih kategorija, čime bi se moglo realizirati više od 40 milijuna noćenja godišnje.

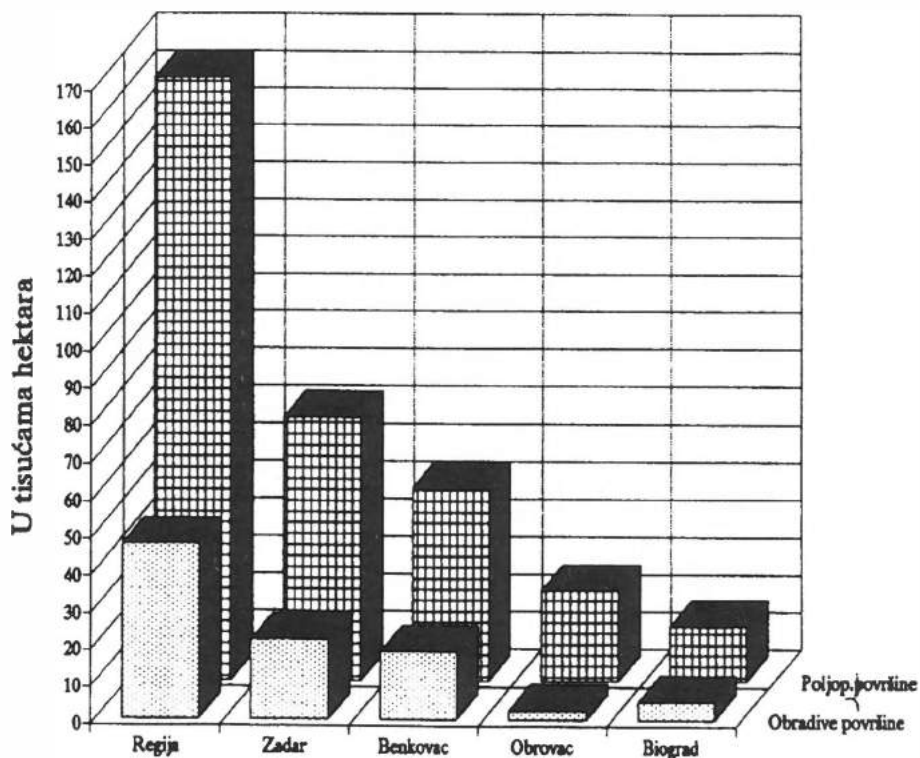
Ove fantastične, ali realno ostvarive mogućnosti razvoja poljoprivrede i turizma, omogućavale bi godišnju bruto realizaciju veću od 12 milijardi DEM što bi ovu regiju svrstalo među najbogatije u svijetu.

3. Optimalne potrebe vode do 2050. godine

U ovom prikazu analizirat će se prognoza potrošnje za glavne skupine potrošača, uključivo komunalnu potrošnju.

1.Stanovništvo:	700 l/st./dan	m ³	99.000.000
2.Turizam:	900 l/tur./dan	m ³	37.000.000
3.Poljoprivreda	3.250 m ³ /ha	m ³	357.000.000
4.Industrija:	10.000.000,00 m ³ /god.	m ³	10.000.000
5.Stočarstvo:	2.500.000,00 m ³ /god.	m ³	2.500.000
Ukupno m ³ /godišnje:			506.645.000

Potrošnja za turizam i poljoprivredu odnosi se na mjesec od V. do IX., a za ostale kategorije potrošača na cijelu godinu. (graf 2.). Maksimalna ljetna potrošnja iznosi 58.825 l/s, a bez poljoprivrede i turizma tokom ostalog dijela godine 3.545 l/s.

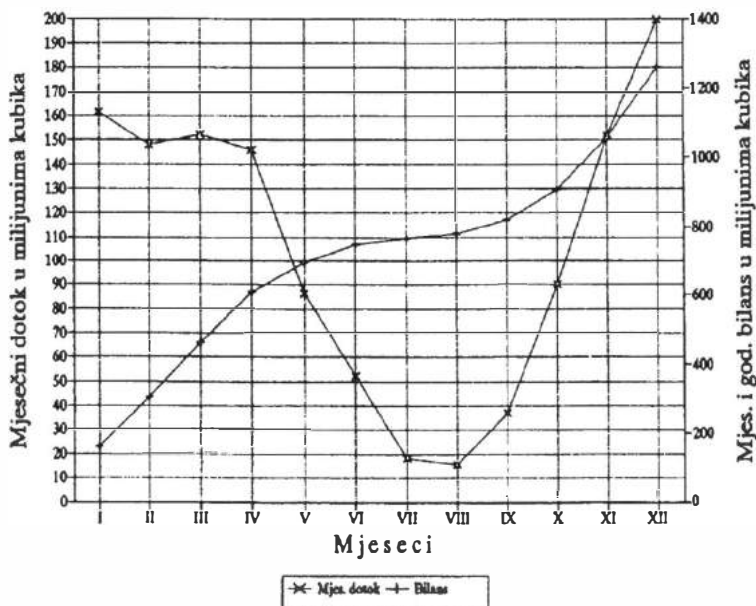


Graf 2.

Vidljivo je da poljoprivreda i turizam u ukupnoj potrošnji sudjeluju s 93,59%, a svi ostali potrošači samo sa 6,41%.

4. Kako osigurati 58.825 l/s, odnosno 507 milijuna kubika vode godišnje

Rijeka Zrmanja, koja utječe u Novigradsko more, jedini je značajniji vodotok na području sjeverne Dalmacije (graf 3.)



Graf 3.

Velik je nedostatak rijeke Zrmanje njezino bujično svojstvo, tj. jačina je protoka u neposrednoj funkciji pale oborine, a kreće se od mim. 400 l/s, do max. 155 m³/s, nizvodno od Jankovića buka, nedaleko od Obrovca. Dakle, neposredno korištenje vode rijeke Zrmanje, naročito od 6. do 9. mjeseca, kad su potrebe najveće, dotok je minimalan i jedva dostatan za biloški život rijeke. Za četiri sušna mjeseca u prosječnoj hidrološkoj godini, bilans je Zrmanje samo 123 milijuna kubika, svega desetina godišnjeg bilansa, a to je čak 383 milijuna kubika manje od prognoziranih potreba za navedeni program u sušnome dijelu godine.

Ipak, ukupni godišnji bilans rijeke Zrmanje u prosječnoj hidrološkoj godini iznosi 1,26 milijardi kubika, 2,50 puta više od maksimalnih potreba regije

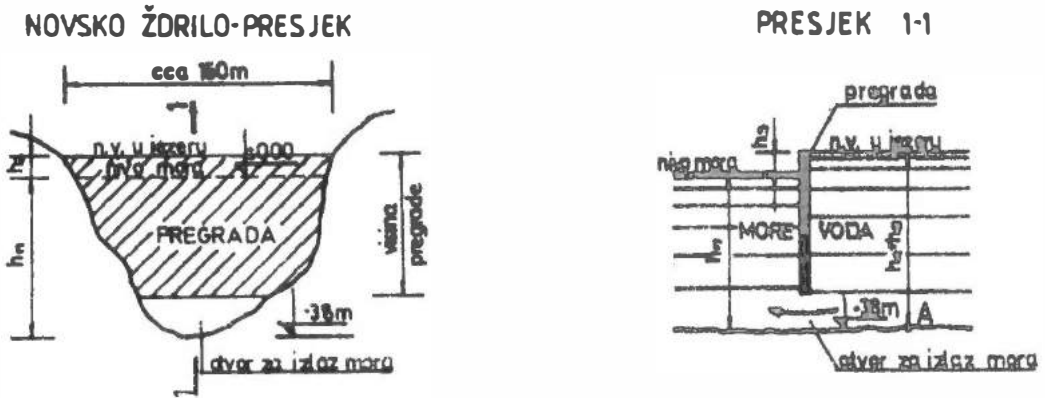
Ideja se sama nameće: **VODE RIJEKE ZRMANJE TREBA AKUMULIRATI**

5. Supstitucija novigradskoga mora akumulacijom rijeke Zrmanje

Analizom se geomorfološkoga oblika Novigradskoga mora, zaključuje da je u nedavnoj geološkoj prošlosti procesom prirodne hidrogeološke metamorfoze Zemljine površine / ne ranije od 30.000 godina / bilo retencija rijeke Zrmanje, čiji je kanjon bio današnje Novsko ždrilo. Jasni tragovi prakorita Zrmanje naziru se sve do Vinjerca, a još u daljoj geološkoj prošlosti /u ledeno doba diluvija/ ušće se nalazilo posred Jadrana.

Proces supstitucije ostvariv je na sljedeći načina: uvažavajući Ghyben-Herzbergovu teoriju o statičkoj ravnoteži tekućinama različite gustoće, nužno je spriječiti istjecanje vode rijeke Zrmanje koja sada u površinskom sloju izravnono od ušća rijeke teče kroz Novsko ždrilo u Velebitski kanal, a istodobno omogućiti u dnu ždrila istjecanje morske vode iz Novigradskoga mora u Velebitski kanal!

Da bi se omogućio takav protuprirodan proces, potrebno je fizičkom pregradom u Novskome ždrilu izvesti razdvajanje Novigradskoga mora od Velebitskog kanala. Pregrada bi trebala imati temeljni ispušt promjenljive propusne moći, koji je u funkciji dotoka Zrmanje /vidi shematiziranu sl.1 /.



Sl. 1.

Kako je more za 1/36 teže od vode, nivo Novigradske akumulacije kod potpune supstitucije bio bi za 107 cm viši od nivoa mora u Novskome ždrilu, što slijedi iz spomenute Gyben-Herzbergove teorije:

$$h_s = (P_m - P_s) \frac{H_m}{P_s} = (1028 - 1000) \frac{38}{1000} = 1,07 \text{ m}$$

h_m - dubina slatke i slane vode u točki A. na sljedećoj skici

h_s - visina nivoa slatke vode iznad nivoa mora

P_m - gustoća morske vode = 1028

P_s - gustoća slatke vode = 1000

Za konkretan primjer gdje je dubina mora u profilu pregrade u Novskom ždrilu 38 m, h_s iznosi 107 cm.

Tako je praktično bez upotrebe energije moguće obaviti proces supstitucije Novigradskoga mora vodom rijeke Zrmanje. Volumen Novigradskoga mora do kote srednje plime na + 0,62 m iznosi 596,27 milijuna kubika, što znači da rijeka Zrmanja sa svojih 1,26 milijardi kubika u prosječnoj hidrološkoj godini, Novigradski bazen / akumulaciju / može DVA PUTA napuniti u toku jedne godine! Nakon potpuno obavljene supstitucije, proces istjecanja kroz temeljne ispuste trebalo bi nastaviti još neko vrijeme radi desalinizacije podmorskoga tla, nakon čega bi uslijedilo zatvaranje temeljnoga ispusta. Višak vode iz Novigradske akumulacije prelijevao bi se preko preljevnog građevine na pregradi u Novsko ždrilo.

Za Karinsko se more, koje je po površini šest puta manje od Novigradskoga, a po volumenu s 38 milijuna kubika 16 puta, ovom studijom predlaže da se pregradom u

Karinskom ždrilu odvoji od akumulacije i koristi kao veliko vankavezno ribogojilište. Godišnje isparivanje moguće je nadoknađivati iz Novigradske akumulacije.

6. Ekološke posljedice supstitucije

Izravna posljedica supstitucije Novigradskoga mora akumulacijom rijeke Zrmanje bila bi potpuna izmjena flore i faune. To, u krajnjem slučaju, i ne bi trebala biti negativna činjenica u ekološkome smislu. Ne postoje razlozi za eventualnu promjenu mikroklima jer bi vodeni pokrivač ostao nepromijenjen. Morska fauna koju karakterizira poznata novigradska srdela, mogla bi se zamijeniti uzgojem tolstobika, vrlo kvalitetne slatkovodne ribe, koja je deficitarna na turističkom tržištu Jadrana. Izvjesni problemi mogli bi se očekivati od posljedica truljenja morske biocenoze, ali je to vremenski ograničen proces. Moguće je također očekivati određen psihološki šok stanovnika Novigrada i Posedarja, koji bi se, mimo svoje volje, odjednom našli na obalama jezera. Iako su ti problemi rješivi izgradnjom zamjenskih objekata na pogodnoj lokaciji uz more, prema njima se valja odnositi s razumijevanjem i odgovornošću.

Tijekom 20. stoljeća, kad se u svijetu izvode veliki hidrotehnički zahvati, čovjek je bio suočen s bezbroj dilema ekološke, sociološke i gospodarske naravi. Tako su gospodarski interesi opravdavali i preseljenje velebnoga spomenika Ramzesu II. u Abu Simbelu, spomenika stara gotovo 3500 godina kako bi se mogla izgraditi golema Asuanska akumulacija, koja čitavom Egiptu osigurava preko 90 posto potreba električne energije, a spriječila je redovito plavljenje obradivih površina u dolini Nila. To je potvrda pravila da ne postoji apsolutni dobitak, dobitak zahtijeva i žrtve.

Mnogobrojni su primjeri, ima ih i u nas, da se na druge lokacije preseljavalo na desetke naselja. Naravno, uvijek se oprezno analizira očekivana korist i neizbježna šteta.

Pozitivna strana supstitucije, pokraj osiguranja dovoljnih količina vode na neograničeno vrijeme, bila bi sigurno uklanjanje posolice, koja redovito uništava poljoprivredne usjeve velikoga dijela Ravnih kotara.

Pregrade u Novskome i Karinskome ždrilu trebale bi imati prevodnice ili dizalice za sportske i ribarske brodove.

Cilj je ove analize da na osnovi globalnih pokazatelja ukaže da je **MOGUĆE** osigurati neograničene količine vode za sveukupne potrebe sjeverna Dalmacije i šire, na praktično neodređeno dugo vrijeme, te da pobudi interes političkih, stručnih i gospodarskih subjekata na potrebu realizacije ovoga, u svijetu jedinstvenog projekta

Složenost zahvata, nužnost angažiranja brojnih stručnih disciplina, ukazuje na potrebu višegodišnjega rada na izradi kompletne studijske i projektne dokumentacije.

Praktična mogućnost natapanja preko 110.000 ha poljoprivrednih površina na području sjeverne Dalmacije u idealnim uvjetima mediteranske klime, kao i osiguranja dovoljnih količina vode za stanovništvo i 350.000 turista, uklonit će zauvijek potrebu da mladi ljudi traže posao i zaradu u tuđim zemljama, da konačno prestane raseljavanje iz ove regije

Srednji Jadran, sa svojom idealnom klimom, besprijekorno čistim morem, raskošnom ljepotom obale i otočnoga arhipelaga, postati će prepoznatljiv centar europskog i svjetskog turizma.

Voda i čovjekova pamet uvijek pronalaze put*

* Predovan Nade, dipl. ing. grad.: "STUDIJA o supstituciji Novigradskog mora akumulacijom rijeke Zrmanje", izdanje "Zadarska smotra", Zadar, 1995. god.

Tema 7.
HIDRAULIČKA ISTRAŽIVANJA



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

S. Ilic, P. G. Axe, A. J. Chadwick,
M. A. Davidson, P. A. D. Bird,
G. N. Bullock and D. J. Pope

R 7-01

The Role of Offshore Breakwaters in Coastal Defence

ABSTRACT: *A coastal defence scheme comprising of eight offshore breakwaters and a rock groyne have been constructed along a 1.5 km stretch of the U.K. south coast, in combination with a shingle beach renourishment. Directional wave conditions were recorded simultaneously both inshore (in a breakwater gap and in its lee) and offshore, from September 1993 to January 1995. Additionally, another wave recorder was deployed during spring 1994 immediately in front of one breakwater, to evaluate its reflection characteristics. Beach surveys have been undertaken throughout the wave measurement programme. These demonstrate the response of the replenishment material to the wave conditions, as modified by the breakwaters. Wave data also is used to evaluate a computational wave propagation model based on the mild slope equation. It has been possible to compare the model predictions of wave height (made taking into account wave reflection, refraction and diffraction) with those measurements taken at the site.*

KEYWORDS: *offshore-breakwaters, wave recorders, beach evolution, reflection, diffraction, mild-slope equation*

Uloga valobrana u zaštiti morske obale

SAŽETAK: *Za zaštitu plaže na južnoj obali Velike Britanije izgrađeno je osam samostalnih valobrana i jedno pero u kombinaciji sa nasipavanjem plaže. Od rujna 1993. do siječnja 1995. trajalo je paralelno mjerenje valova 'in situ' (visine i smjera), na pučini ispred valobrana i na obali (između valobrana i u zaleđu). Tijekom proljeća 1994, jedan mjerajući instrument mjerio je valove ispred valobrana s ciljem određivanja koeficijenta odbijanja. Promjene profila plaže mjerene su paralelno sa mjerenjima valova. Nastale promjene trebale bi pokazati zavisnost materijala na promjene valovanja nastale izgradnjom valobrana. Sakupljeni podaci 'in situ' koriste se za vrednovanje računarskog modela propagacije vala na bazi jednadžbe blagog pokosa. Visine vala (pod utjecajem odbijanja, loma i ogiba), dobivene računarskim modelom, bit će uspoređene s mjerenim podacima.*

KLJUČNE RIJEČI: *valobrani, mjerач valova, razvoj plaže, odbijanje vala, ogib vala, jednadžba blagog pokosa*

S Ilic, P G Axe, A J Chadwick, M A Davidson, P A D Bird, G N Bullock, University of Plymouth, School of Civil and Structural Engineering, Plymouth, UK
D J Pope, University of Brighton, Dept. of Civil Engineering, Brighton, UK

Introduction

Offshore structures built near beaches can produce shoreline changes around them. Offshore breakwaters attenuate wave action, causing sediment to deposit in the lee of the structures. This results in the development of a beach salient or tombolo.

The concept of detached offshore breakwaters is not novel. They simulate or imitate the wave attenuation characteristic of a natural shore parallel structure (e.g. sand bar or reef). Although breakwater schemes have been built and monitored in Japan, USA, Italy, Israel and Australia, previous experience in UK has been very limited.

The defences at Elmer (West Sussex Coast, UK, see Fig.1) were commissioned jointly by Arun District Council (ADC) and the National Rivers Authority (NRA) to protect 2 km of headland area. The scheme is based on soft defence techniques consisting of 8 shore-parallel rock island breakwaters and a terminal groyne protecting a renourished shingle beach. The structures are low crested 'reef' type rubble mound breakwaters.

The breakwaters are between 100 m and 170 m long, and extend for 1.5 km along the coast. Crest elevations are 4.5 m above Ordnance Datum, with the exception of the two easternmost breakwaters which are 1 m lower in order to reduce the down drift impact of the scheme. The constructed breakwaters have a slope of 1:2 (seaward) and

1:1.5 (landward faces) respectively, with a widened roundhead at each end of the structure with a slope of 1:2.5. The rock armour blocks used were of Norwegian syonite, with an effective mean weight of between 7.5 and 8.5 tonnes. A minimum rock density of 2.6 tonnes/m³ was specified for armourstone and bedstone. A fuller description of the site and details of the construction may be found in Holland and Coughlan (1994).

The area is macro-tidal, with a mean range of 5.3 m on spring tides and 2.9 m on neaps. The beach lies on a wave cut platform of upper Cretaceous chalk with a gradient of approximately 1 in 50. Flint nodules are exposed as the chalk is eroded although offshore supply of shingle is otherwise small. Above the chalk, a layer of sand ($D_{50} = 115\mu\text{m}$) forms a low tide terrace, shingle ($D_{50} = 11\text{mm}$) over the sand forms the principle protection for the seawall that backs the beach.

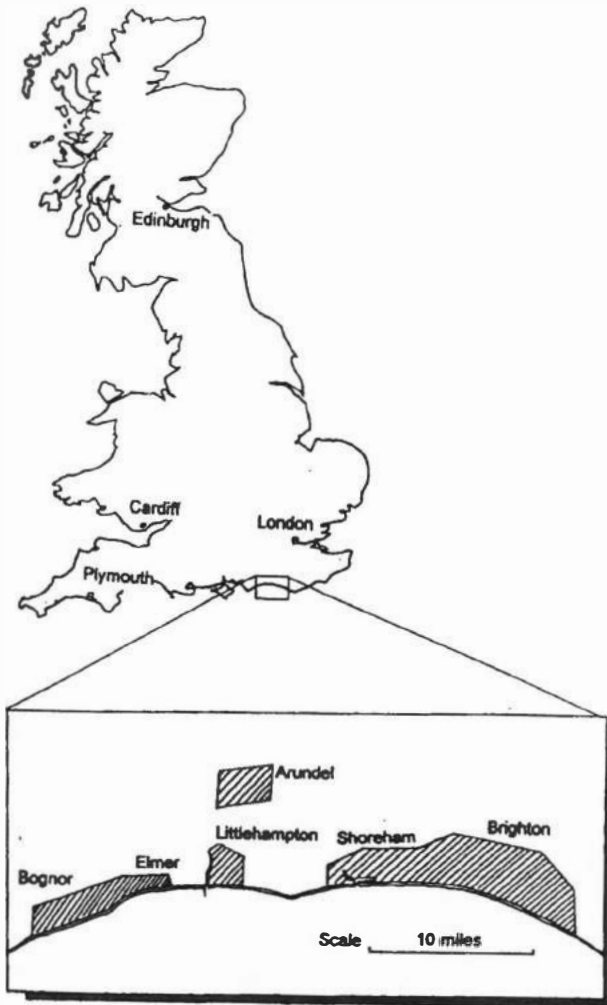


Figure 1. Location Map

Since the completion of the scheme ADC, together with the Universities of Brighton and Plymouth and with technical assistance from HR Wallingford Ltd and Sir William Halcrow & Partners, started wave measurements and the monitoring of beach changes.

The Elmer site was also used to extend a field investigation into reflection. The dependence of reflection on slope is of considerable commercial interest as the cost of building these breakwaters is highly sensitive to slope angle. It remains to be seen whether design criteria based on model scale tests are valid at full scale.

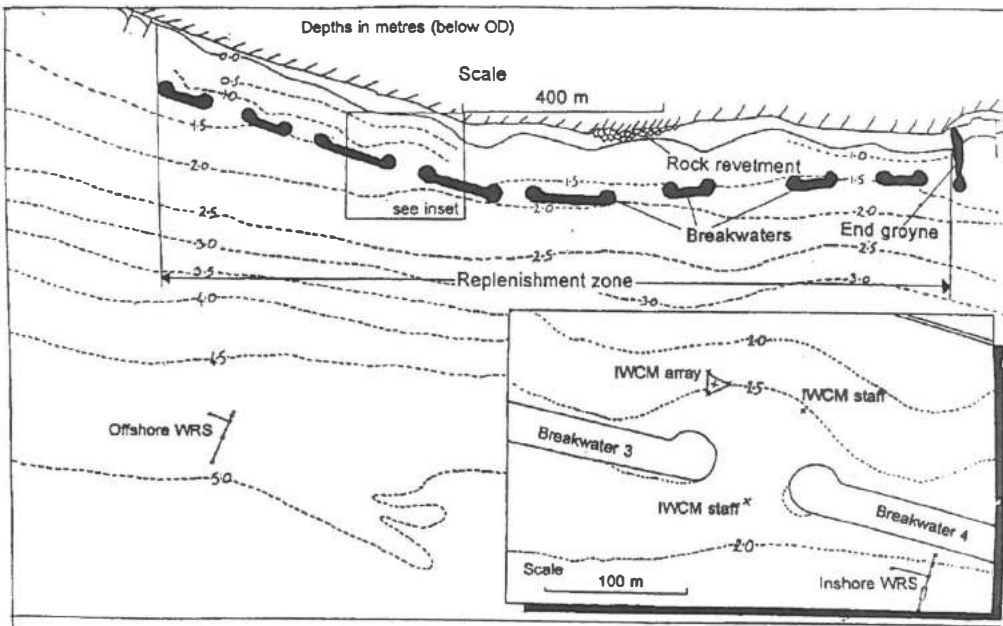


Figure 2 Plan of breakwater scheme, showing layout of instrumentation

Wave diffraction in the lee of detached offshore breakwaters is the principal mechanism responsible for the formation of tombolos or salients. Diffraction diagrams for use in constant water depth with monochromatic waves were derived by Penny & Price (1952), based on Sommerfeld's solution of the Helmholtz equation. Subsequently Goda *et al* (1978) revised these diagrams for random directional sea states. Wave diffraction may also be calculated by computational models. The measurements taken at Elmer allow the field measurements of diffraction influenced by refraction, reflection and transmission to be compared with both design charts and a new computational model based on the 'mild-slope equation'.

Field measurements and analysis

Directional wave measuring techniques have been developed at the University of Plymouth (Bird and Bullock, 1991) for waves near breakwaters and sea walls (taking account of reflection) and at the University of Brighton (Chadwick *et al* (1995a, in press)) for waves incident on beaches. Two different types of wave measurement equipment were deployed for synchronized field measurements. The University of

Brighton Inshore Wave Climate Monitor (IWCM) consists of six, six metre high, surface piercing wave resistive poles measuring instantaneous depth directly. Sensing poles are arranged in a group of four in a star formation of side length 6 m, with two outlying sensors up to 100 m away (Chadwick *et al* (1995b, in press). The University of Plymouth Wave Recording System (WRS) consists of a set of six pressure transducers arranged in an array on the sea bed extending over an area of 60 x 16 metres (Bird *et al*, 1994). The WRS was deployed offshore about 600m from the coast giving wave conditions incident on the line of breakwaters.. An additional WRS was deployed just seaward of breakwater 3, located specifically to decompose incident and reflected wave components allowing the determination of the reflection characteristics of the structure over a wide range of conditions. The IWCM measures wave activity behind the breakwater and in the gap enabling estimates to be made of diffraction, refraction and shoaling (Figure 2).

Comparison of the two measurements systems

The first step in the analysis of records from the WRS is the conversion of sub-surface pressure records into the equivalent surface elevation records.(The IWCM produces surface elevation time series directly). This is achieved by application of a frequency domain digital filter using a frequency-dependent gain function corresponding to the linear wave theory conversion. As the main objectives of the project involve the intercomparison of data from each of the three wave recording system, it was essential to verify that surface elevation measured by pressure transducers was comparable and compatible with surface elevation recorded by IWCM. Both systems were deployed in the same position on the natural beach at Felpham, West Sussex (Bird *et al* (1994)). The analysis of recorded data showed high correlation between these two measurement systems and highlighted the necessity of using one spectral analysis technique for both systems.

Analysis of field measurements

All records are processed in both the time- and frequency domains to generate a range of statistical parameters including the directional wave spectrum. The basic statistics are computed in accordance with IAHR guidelines (Darras, 1987). Analysis of the basic statistical parameters from the many data sets was greatly facilitated by use of a computer spreadsheet and database.

Reflection analysis

Wave reflection causes a double application of wave energy and an enhancement of the nearshore velocity field, leading to intensified sediment scour and the subsequent undermining of coastal structures.

Due to the adverse effects of reflection, the coastal engineer requires design criterion which enable cost effective structures to be built with acceptable reflection performances. This has prompted numerous theoretical and model scale studies of wave reflection yielding a variety of predictive schemes (Davidson *et al* (1994); Bird *et al* (1995)). However, there have been relatively few full scale measurements of wave reflection. It remains to be seen therefore whether design criteria based on theoretical studies and model scale tests are valid at full scale. The Elmer project has allowed a comprehensive assessment of the reflection performance of a full scale rock island breakwater under a broad range of incident wave conditions.

Equation	Coefficients	Author(s)
$K_r = a(1 - \exp(b\xi))$	$a = 0.503, b = -0.1248$	Losada & Gimenez-Curto (1981)
$K_r = a\xi I(b + \xi)$	$a = 0.6, b = 6.6$	Seelig & Ahrens (1981)
$K_r = a\xi I(b + \xi)$	$a = 6.4, b = 9.64$	Allsop (1990)
$K_r = a\xi^b$	$a = 0.125, b = 0.73$	Postmar (1989)

Table 1. Equations for the reflection coefficient (K_r) as a function of Iribarren Number ($\xi = (\tan\beta/\sqrt{(H/L_o)})(H/L_o)$), $\tan\beta$ =structure gradient, H =Incident significant wave height, L_o =deep water wave length) for the models shown in Figure 3

Figure 3 shows a comparison of field data with some of the currently available models for wave reflection from rubble mound breakwaters. The equations for these models are given in Table 1. Inspection of the figure shows that Seelig and Ahren's (1981) and Allsop's (1990) equations provide fairly accurate estimates of wave reflection under highly reflective conditions (Iribarren numbers >20) and conservative estimates under more dissipative conditions (Iribarren numbers <20). The trend of the data is also well described by Losada and Giminez-Curto (1981) although this model typically underestimates the magnitude of reflection. Postmar's equation provides a conservative estimate of reflection at low Iribarren numbers (< 10) but severely overestimates reflection under strongly reflective conditions.

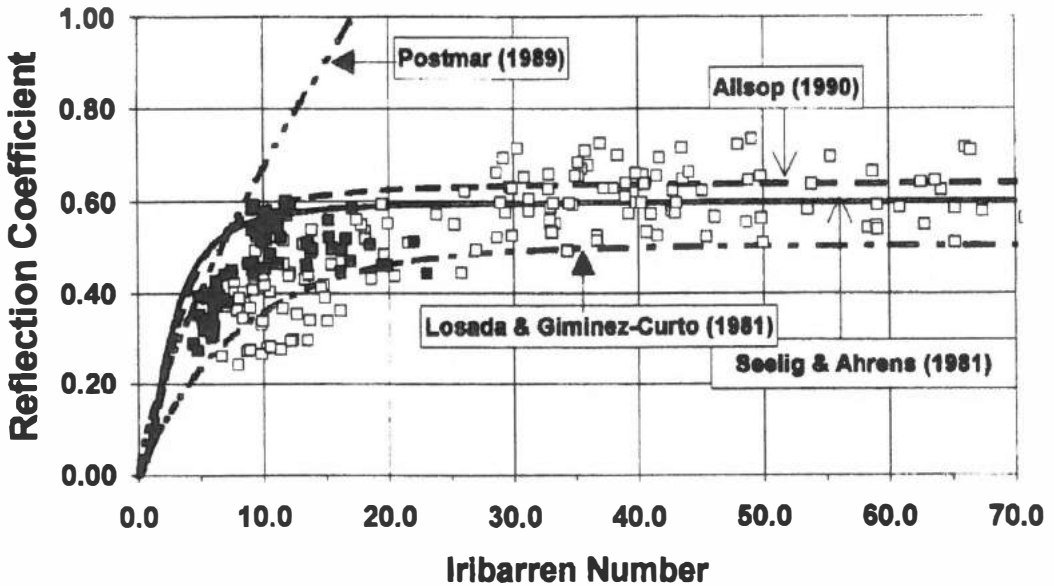


Figure 3. A comparison of measured data with currently available models for wave reflection. Open and solid squares represent field data from rubble mound breakwaters with design slopes of 1:1 and 1:2 respectively.

Beach evolution analysis

Along with the construction of the breakwaters, a 139,000m³ beach renourishment took place, using coarse material derived from offshore sources. Offshore, the material was transferred to split bottom barges, and deposited over the site at high water. At low tide, it was pushed and later carried into place. This process resulted in a well

mixed beach, with a concrete-like appearance. Fine grained particles formed a compact matrix around the coarser clasts, reducing the permeability of the beach.

Surveys of the beach were carried out before the commencement of the works, on completion, and at three monthly intervals after that. Due to the size of the study area, aerial photogrammetry was the chosen survey technique. Data included information on beach material (sand, shingle, concrete or rock) in addition to surface elevations at fifty metre intervals alongshore. Samples were taken from the beach for particle size analysis, and an extensive library of photographs was built up to qualitatively document the changes to the beach.

The replenished material was reworked by wave action, forming salients behind each breakwater, and low cliffs (0.25-1.1m) in the bays. As the tide fell, salients became tombolos, cutting off littoral transport through the scheme. Salient development was most pronounced in the east of the scheme. This project has provided a unique opportunity to assess the formation of salients and tombolos (and their dependence on breakwater-to-shoreline distance) in a macrotidal environment, and to study the performance of well-mixed offshore-sourced aggregate as a beach replenishment material.

Modelling

The mild slope equation, derived by Berkhoff (1972), provides an efficient, linear short wave propagation model, requiring less computing power than a full Boussinesq type model, and is thus more applicable to the study of larger coastal areas. Li (1994) derived a time dependent evolution equation which is based on the original mild slope equation. Harmonic time is excluded from the model which enabling rapid convergence. It is not only capable of dealing with refraction and diffraction, but also reflection from coastal structures, a major limitation of many previous models based on the mild slope equation. The boundary conditions are the same as for the elliptic equation, making it easier to solve than hyperbolic models.

A series of preliminary tests using Li's model were undertaken for the Elmer scheme, where the boundary conditions were taken from offshore field measurements. The model is run over an area of 1905 m (alongshore) by 705 m onshore-offshore. A model grid spacing of 5 x 5 m was chosen. Model predictions were compared with both sets of inshore measurements, proving the ability of the model to deal with reflected seas. Results obtained so far clearly show reflected (or standing) waves in front of the breakwaters and diffraction patterns in the lee of them. Figures 1-3 show results from numerical tests for the wave conditions on 1/04/1994. The measured energy spectra offshore (position D) has a narrow peak typical of a swell dominated sea, with a peak frequency of 0.0977 Hz. It was anticipated that this could be modelled with a monochromatic wave field. Model input parameters were as follows: wave height of 1.01m, wave period of 10.24 s and wave direction from the SW. Water depth between the two breakwaters was set to 3.73 m, equal to the measured depth. Modelled wave heights inshore at positions A,B and C show good agreement with measured wave heights (wave heights at A,B and C were 0.6 m, 0.85 m and 1.1 m respectively). Model evaluation will continue to study the effects of different boundary and initial conditions on the model output. Validation of the model will also investigate the effect of variations in incident wave direction and breakwater reflection properties, comparing these with the prototype measurements. It should be possible to further develop the model to deal with directional spectra, non-linear terms and possibly wave-current interactions. The model evaluation should show the capability, accuracy and restrictions of the model, and highlight any advantages or problems in its use.

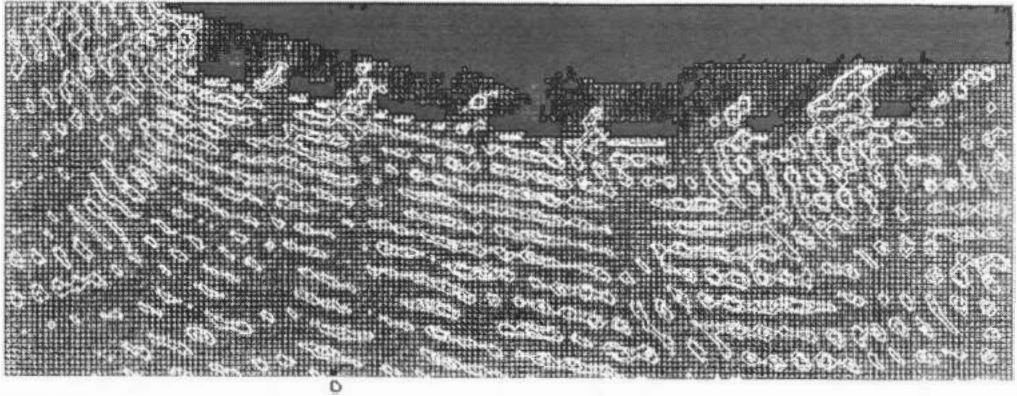


Figure 4. Numerical model output generated for an approximation to the wave conditions measured at 'D' on 1 April 1994. (Wave height contours: 1.1m, 1.2m).

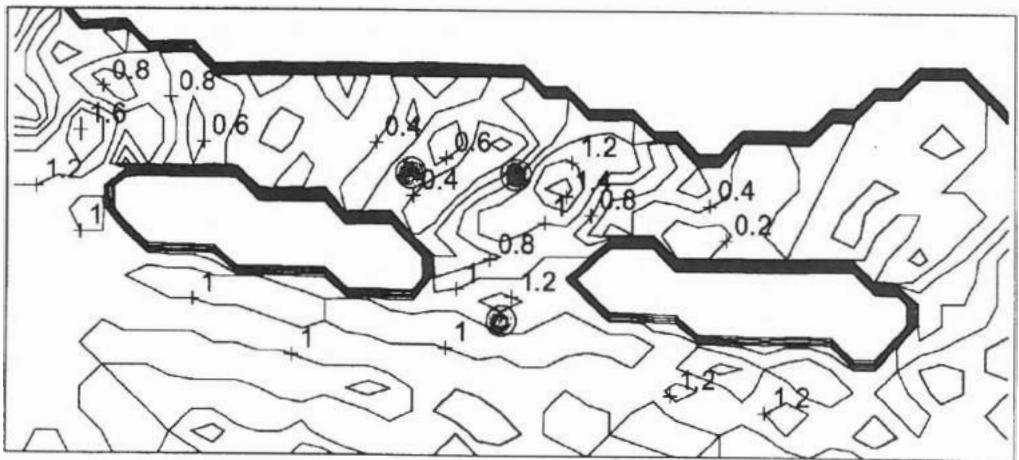


Figure 5. Detail from Fig. 9 around Breakwaters 3 and 4. (Contours as marked.)

Acknowledgments

The authors would like to acknowledge the support and assistance received from the Engineering and Physical Sciences Research Council (through research grants GR/K14212, GR/H82969, GR/H 17183), Arun District Council, the Standing Conference on Problems Associated with the Coastline (SCOPAC), National Rivers Authority, Sir William Halcrow & Partners, HR Wallingord. The contributions of Prof D M McDowell and Prof D A Huntley are also gratefully acknowledged.

References

- Allsop N.W H., 1990, '*Reflection performance of rock armoured slopes in random waves*', Proc 22nd Coastal Eng Conf, ASCE, New York, USA.
- Berkhoff J.C.W., 1972, '*Computation of combined refraction/diffraction*', In: Proc.13th Conf. Coastal Eng., Vancouver, ASCE, Vol.1, pp 471490.
- Bird P.A.D and Bullock G.N., 1991., '*Field measurements of the wave climate*', in Developments in Coastal Engineering, Eds: D.H. Peregrine and J.H Loveless, March 1991, University of Bristol, UK, pp 13 24.
- Bird, P.A.D., Davidson, M.A., Bullock, G.N. and Huntley, D.A., 1994, '*Wave measurement near reflective structures*', Proc. Conf. Coastal Dynamics '94, ASCE, Barcelona, pp 701711.
- Bird, P.A.D., Davidson, M.A., Ilic S., Bullock, G.N., Chadwick A.J., Axe P.G. and Huntley D.A., 1995, '*Wave reflection, transformation and attenuation characteristics of rock island breakwaters*', ICE Conference Coastal Structures and Breakwaters '95, London, UK
- Chadwick A.J., Pope D.J., Borges J. and Ilic S., 1995, '*Shoreline directional wave spectra Part 1: An investigation of spectral and directional analysis techniques*' Accepted for publication in: Proc Inst Civil Eng, Water Maritime & Energy.
- Chadwick A.J., Pope D.J., Borges J. and Ilic S., 1995, '*Shoreline directional wave spectra Part 2: Instrumentation and field measurements*. Accepted for publication in: Proc Inst Civil Eng, Water Maritime & Energy.
- Darras M, 1987, '*IAHR List of Sea State Parameters: A Presentation*', Proceedings XXII IAHR Congress, Lausanne, Switzerland.
- Davidson, M.A., Bird, P.A.D., Bullock, G.N. and Huntley, D.A., 1994, '*Wave reflection: Field measurements, analysis and theoretical developments*', Proc. Conf. Coastal Dynamics '94, ASCE, Barcelona, pp 642655.
- Goda Y. Takayama T. and Suzuki Y., 1978, '*Diffraction diagram for directional random waves*', Proc. 16th Conf. Coastal Eng., ASCE, Hamburg, pp 628650.
- Holland B and Coughlan P., 1994, '*Elmer coastal defence scheme*', in: 1994 MAFF Conference for River and Coastal Engineers, Loughborough, 4 6 July 1994. 15 p.
- Li B, 1994, '*An Evolution Equation for Water Waves*', Coastal Eng., 23, pp 227242.
- Losada, M.A. & Gimenez-Curto, L.A., 1981, '*Flow characteristics on rough, permeable slopes under wave action*.' Coastal Eng., 4 pp 187206.
- Penney W.G. and Price A.T., 1952, '*The diffraction theory of seawaves and the shelter afforded by breakwaters*', Philos. Trans. Royal Soc. Series A, 244 (882), 236253.
- Postmar G.M., 1989, '*Wave reflection from rock slopes under random wave attack*', Unpub MSc Thesis, Delft University of Technology, pp 106.
- Seelig, W.N. and Ahrens, J.P., 1981, '*Estimation of wave reflection and energy dissipation for beaches, revetments and breakwaters*', CERC technical paper 811, Fort Belvoir. US Army Engineer Waterways Coastal Experiment Station, Vicksburg, Miss., 40pp.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Davor Bojanić Vinko Jović

R 7-02

Hidraulički proračuni kolektora luke Split

SAŽETAK: *Kanalizacija velikog dijela grada Splita orijentirana je prema gradskoj luci. Osnovne koncepcije rješenja kanalizacijskog prstena gradske luke postavljene su prije dvadesetak godina otkada se postupno radi na realizaciji izgradnje. Danas se sve otpadne vode, koje gravitiraju prema luci, u nju i ulijevaju, te je jako zagađuju. Zbog toga je rješenje odvođenja otpadnih voda izvan gradske luke u brački kanal jedan od najvažnijih zadataka Splita današnjeg vremena.*

U ovom radu obrađeni su hidraulički problemi kanalizacijskog sustava kolektora splitske luke, rad crpnih stanica i podmorskog tlačnog cjevovoda u uvjetima privremenog rješenja. Hidrauličke analize napravljene su za privremeno i za konačno rješenje. Modeliranje je izvedeno matematičkim modelom Simpip. Za ispravno funkcioniranje sustava u uvjetima privremenog i konačnog rješenja, analizirano je više varijanti izgradnje privremenog rješenja, a odabrano je detaljno modelirano.

KLJUČNE RIJEČI: *kanalizacija, numeričko modeliranje, preljevi, hidraulika*

Hydraulic Calculations of the Split Port Sewage Collector

ABSTRACT: *The City of Split sewage is generally oriented towards the city port. The basic concept of the city port sewage ring has been established some twenty years ago, and the construction realization has been in gradual progress. Today, all waste waters gravitate towards the port, are discharged into the port, and cause high pollution. Therefore, the solution for waste water discharge off the city port into the Channel of Brač is one of the most important projects in contemporary Split.*

The paper analyzes hydraulic problems of the sewage system of the Split Port collector, operation of pumping stations and submarine pressure piping, under the conditions of temporary solution. The hydraulic analyses are made for both temporary and final solution. The Simpip mathematical model was used in modelling. For correct functioning of the system as both temporary and final solution several alternatives of temporary facility construction have been analyzed, and the detailed model was prepared for the selected solution.

KEY WORDS: *sewage system, numerical modelling, overflows, hydraulics*

1. Uvod

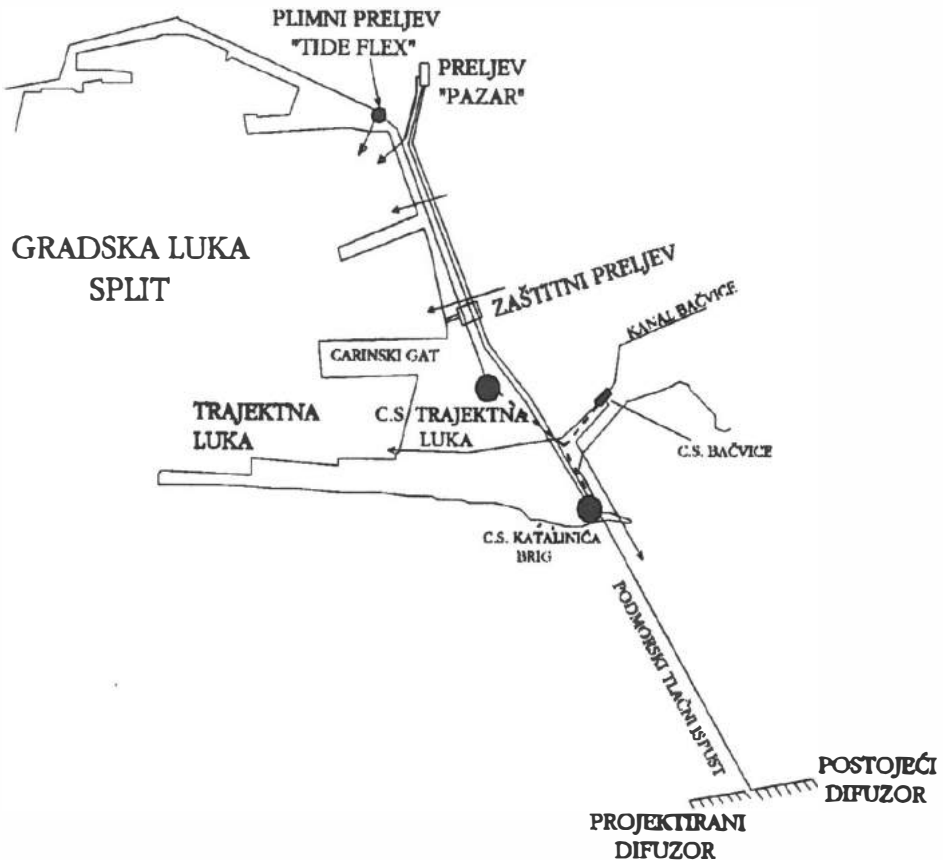
Kanalizacijski sustav većeg dijela Splita orijentiran je prema gradskoj luci u koju se ulijevaju velike količine otpadnih voda i jako je zagađuju. Zato je rješenje odvođenja otpadnih voda izvan gradske luke u more bračkog kanala, jedan od najvažnijih zadataka Splita.

Konačno rješenje odvođenja fekalnih i kišnih voda prema budućoj crpnoj stanici (s uređajem za pročišćavanje) na Katalinića Brigu, te dalje u more, odlaze se za bolja financijska vremena, stoga se pristupa privremenom rješenju kojim će se odvoditi samo fekalne otpadne vode.

Na slici 1 daje se shematski prikaz ovog dijela splitske luke, kanala i crpnih stanica, te su označena dva najznačajnija mjesta na kojima se danas izlijevaju otpadne vode u luku (s preljeva "Pazar" i kanalom "Bačvice" u trajektnu luku).

2. Početna projektna zamisao

Početna projektna zamisao privremenog rješenja sastojala se od izvedbe triju kolektora promjera 1300 [mm] položenih uz obalu do projektirane crpne stanice Trajektna Luka, spoja tlačnim cjevovodom od C.S. Trajektna Luka do postojećeg tlačnog podmorskog ispusta (crtkana crta na slici 1), te eventualne rekonstrukcije postojeće crpne



Slika 1. Shematski prikaz gradske luke Split i sustava za odvodnju

stanice Bačvice. Ova početna zamisao odbačena je nakon nepovoljnih prvih hidrauličkih analiza.

Naime, s obzirom da dotoci na pojedine crpne stanice nisu konstantni, crpke bi radile u nepovoljnim uvjetima. Praktički je nemoguće odabrati takve crpke koje bi radile u optimalnom području iskoristivosti, iz značajno različite tlačne piezometarske kote.

Uz to treba naglasiti da postojeće crpke u crpnoj stanici Bačvice nebi zadovoljile traženim uvjetima (protoci i tlakovi), te bi ih trebalo zamijeniti. Također bi, zbog potrebe ugradnje automatske rešetke, te osiguranja odvoza krupnog fekalnog otpada, bilo potrebno gotovo u potpunosti izvesti novu crpnu stanicu Bačvice, koja se pak u konačnom rješenju ukida.

Zbog navedenih činjenica i potrebe ulaganja relativno velikih financijskih sredstava u rješenje koje će samo privremeno vrijediti, odlučeno je da se odustane od varijante zadržavanja crpne stanice Bačvice, te da se što je moguće više izgradi od konačnog rješenja.

3. Međuvarijanta

3.1. Opis međuvarijante i zaštitnog preljeva

Nakon odbacivanja početne projektne zamisli, nametnula se zamisao da se predviđena dva kolektora izgrade do lokacije Katalinića Brig. Kanal prstena gradske luke prikupio bi otpadne i kišne vode koje gravitiraju gradskoj luci i odveo ih do C.S. Trajektna Luka. Odatle bi bile prebačene u skupni kanal te bi, sa ostalim vodama iz preostala dva kolektora, tekle prema crpnoj stanici Katalinića Brig, a odatle postojećim tlačnim podmorskim ispustom u more. Vode iz izostavljene crpne stanice Bačvice, također bi se upuštale u predviđeni skupni kanal.

Crpna stanica Katalinića Brig uklopila bi se u lokaciju budućeg uređaja za pročišćavanje.

Razmatrajući ovu zamisao kao idejno rješenje privremene faze, postavilo se pitanje mogućeg funkcioniranja kako privremenog, tako i konačnog sustava u izvanrednim okolnostima. Naime, svaki sustav ove vrste mora imati zaštitu od nestanka pogonske energije (primarne i sekundarne) u trenutku najnepovoljnijeg koincidiranja događaja. Nije teško zamisliti duži nestanak pogonske energije na jednoj ili obje crpne stanice u trenutku najvećih dotoka i visokog mora, što se nerijetko događa za olujnog vremena.

Zato je potrebno predvidjeti zaštitni preljev, koji treba spriječiti poplavu fekalnim vodama većeg dijela grada oko luke. Istina, vjerojatnost takvog događaja je izuzetno mala, no ipak ga treba predvidjeti. Pitanje zaštite sustava ove vrste nije razmatrano u postojećoj projektnoj dokumentaciji konačne faze.

Postojeći preljev "Pazar" ne može imati ulogu zaštitnog preljeva, jer je izveden sa krunom na 3.00 [m n.m.], što je previsoko u odnosu na kote terena obale koje su oko 2.20 [m n.m.].

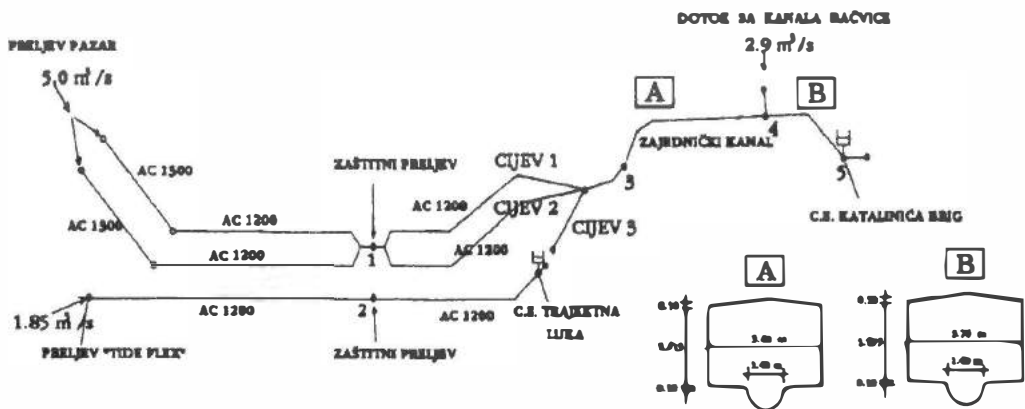
U smislu zaštite sustava, zaštitni preljev bilo bi najpovoljnije smjestiti na kraju sustava, tj. u blizini crpne stanice Katalinića Brig. U tom slučaju preljevom bi se evakuirale vode u područje koje je izloženo jakom djelovanju morskih valova, što bi iziskivalo izgradnju vrlo skupe i složene građevine. Na primjer, da bi se umanjio utjecaj djelovanja valova na prelijevanje, bilo bi potrebno odvoditi vode cijevima na dubinu od najmanje 20 [m]. Tada bi kruna preljeva trebala biti na 1.74 [m n.m.], u što je uračunata plima i potreban pretlak za savladavanje gustoće mora lakšim fluidom.

Ovako visoka kota preljeva stvarala bi uzvodno visoki uspor, te je ova ideja odbačena. Moguća lokacija zaštitnog preljeva treba biti na području zaštićenom od valova, a to je sama luka. Najzaštićeniji dio luke je trajektna luka do Carinskog gata. No, s druge strane, kako se zaštita treba raditi za slučaj događaja kod visokog mora, te da se u normalnim uvjetima more ne bi ulijevalo u kanalizaciju, minimalna kota krune preljeva treba biti 1.20 [m.n.m.]. Već odabir najniže kote zaštitnog preljeva pokazuje da kolektori 1+2 Φ 1200 mm moraju biti tlačni.

Iz navedenih razloga odabran je položaj zaštitnog preljeva u blizini Carinskog gata. U ovom slučaju djelovanje morskih valova skoro se može zanemariti. Osim toga, otvor ispusta sa preljeva ne mora biti duboko, tako da je potreban mali nadtlak za savladavanje ispusnog tlaka koji nastaje zbog razlike gustoće mora i otpadne vode.

3.2. Rad sustava u izvanrednim uvjetima

Zaštita grada od poplave mora funkcionirati u svim fazama izgrađenosti. Provjeren je rad sustava za maksimalne kišne količine konačnog stanja uz različite kombinacije rada crpki.



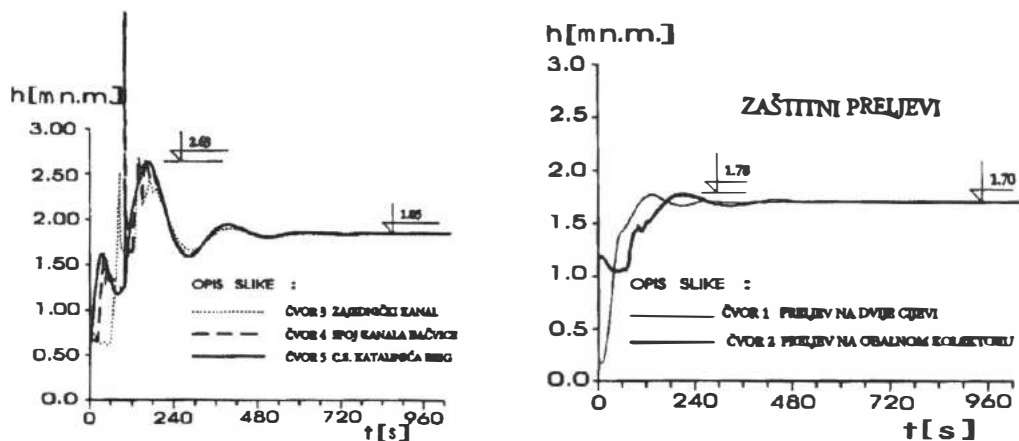
Slika 2. Shema sustava međuvarijante

Dužina zaštitnih preljeva proizlazi iz maksimalno dozvoljenih visina preljevnog mlaza (0.5 m). Analizirane su tri moguće varijante ispada crpnih stanica iz pogona.

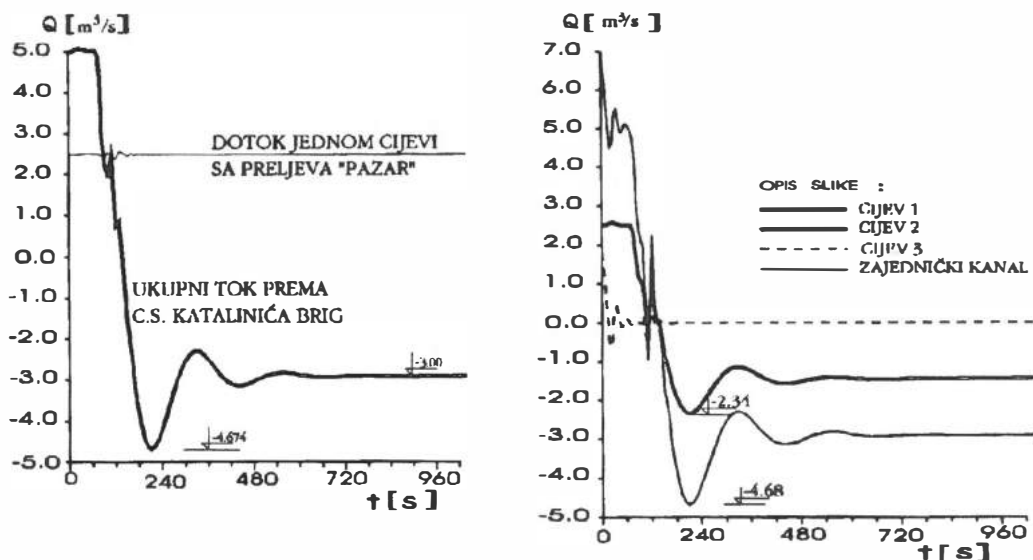
- ispad obje crpne stanice
- ispad crpne stanice Trajektna Luka
- ispad crpne stanice Kataliniča Brig

Ovdje se prikazuju neki rezultati za slučaj a. U trenutku $t=0$ iz stacionarnog rada sustava, modeliran je prestanak rada objiju crpnih stanica. Dio rezultata prikazan je na slici 3.

Može se uočiti faza relativno brzih promjena tlaka koja traje približno dvije minute. Ove promjene tlaka posljedica su vodnog udara koji nastaje kada tečenje u kanalu A prelazi od tečenja sa slobodnim vodnim licem na tečenje pod tlakom.



Slika 3. Vodostaji u nekim točkama sustava



Slika 4. Protoci oko zaštitnog preljeva, te u čvorištu kod početka zajedničkog kanala

Provedena analiza međuvarijante modeliranjem sustava za izvanredni događaj pokazala je, osim količina protoka mjerodavnih za dimenzioniranje zaštitnog preljeva, i neke činjenice koje treba respektirati u bilo kojoj varijanti.

Na slici 4 prikazani su protoci u cijevima oko zaštitnog preljeva, te u čvorištu kod početka zajedničkog kanala.

Naime, u uobičajenim uvjetima rada sustava, cijevni kolektori su u režimu djelomično ispunjenog profila. To vrijedi i za skupni kanal koji vodi sve vode do C.S. Katalinića Brig. Međutim, u izvanrednim slučajevima cijeli sustav dolazi pod tlak, dakle, ne samo cijevni kolektori već i skupni kanal. Upravo trenutak prelaska tečenja sa slobodnim vodnim licem u režim pod tlakom izaziva kratke vodne udare i do veličine 30 [mV.S.], te je potrebno dimenzionirati cijev i kanal na takve dinamičke udare kratkog trajanja.

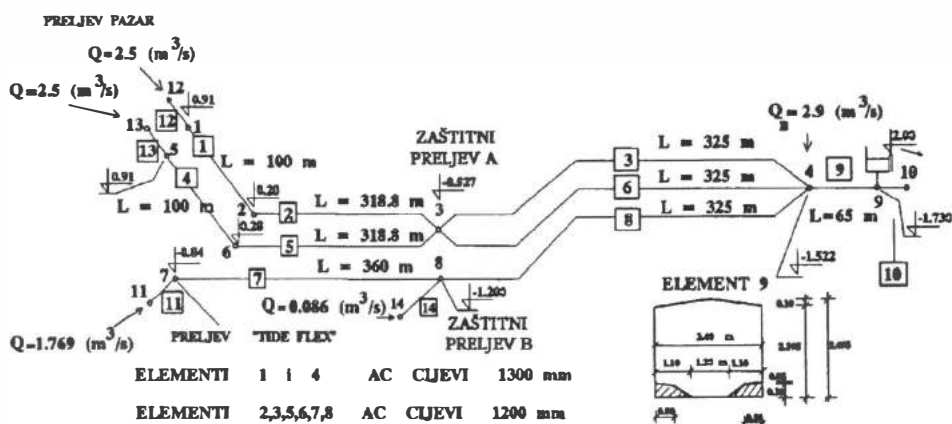
Prema modelskim rezultatima ispitivanja izvanrednog stanja, tlačna linija u kolektorima je uglavnom iznad terena, pa se pri projektiranju usputnih uljeva o tome treba voditi računa.

Konačno, modelski rezultati pokazuju da bi dizanje vode u crpnom zdencu C.S. Trajektna Luka bilo previsoko, te da bi otklanjanje ovog problema iziskivalo vrlo složene tehničke zahvate. Isto tako, dio kanalskog kolektora od C.S. Trajektna Luka do spoja na skupni kanal bio bi u stalnim nepovoljnim radnim uvjetima. Iz tih razloga, kao i zbog male visine dizanja crpki u C.S. Trajektna Luka (oko 0.75 m), ova se međuvarijanta odbacila, te se pristupilo sagledavanju mogućnosti vođenja svih cijevnih kolektora sve do priključka Bačvice, koji bi bio spojno mjesto, što je prouzrokovalo stanovite promjene u uzdužnim padovima kolektora. U tom slučaju C.S. Trajektna Luka više nije potrebna.

4. Hidraulička analiza usvojene varijante

4.1. Modelska shema za usvojenu varijantu

Na temelju ispitivanja uvjeta tečenja sušnih dotoka, došlo se do povoljnog oblika poprečnog presjeka kanala, kako bi se izbjeglo usporenje vode u cijevnim kolektorima. Na slici 5 data je shema sustava za ovu varijantu.



Slika 5. Shema sustava odabrane varijante

Svrha ove analize je odrediti mjerodavne protoke za dimenzioniranje zaštitnog prelijeva i mjerodavnih trajnijih podizanja tlakova u izvanrednim slučajevima.

Dakako, pri tome se podrazumijeva da će sustav dolaziti i pod kratkotrajna povećana tlačna opterećenja, kao što je opisano u točki 3.

Rubni uvjeti su dotoci prikazani na slici 5. U prethodnim analizama uočeno je da vodostaji u točkama 1 i 5, dostižu kote koje utječu na rad prelijeva "Pazar". Isto je stanje i sa čvorom 7. Da bi se smanjili maksimalni vodostaji u nestacionarnom režimu u crpnoj stanici Katalinića Brig u konačnoj fazi, potrebno je izvesti prelijev na crpnom zdencu i povezati ga na dvije postojeće AC cijevi promjera 800 [mm], kao ispust u duboko more.

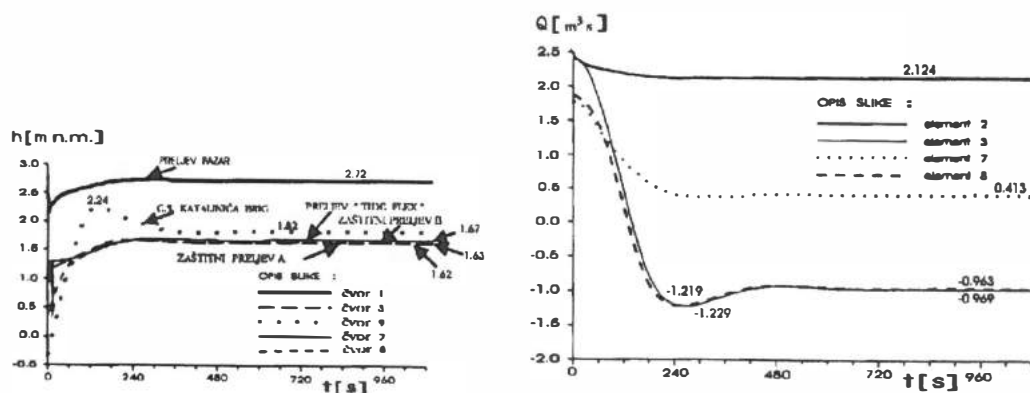
Ovo je potvrđeno i proračunima za različite varijante. Ispitivani su sljedeći slučajevi:

- a) Postoje zaštitni preljevi A i B, preljev "Tide flex", te preljev na C.S. Katalinića Brig.
 b) Postoje zaštitni preljevi A i B, te preljev "Tide flex".
 c) Postoje zaštitni preljevi A i B, te preljev na C.S. Katalinića Brig.
 d) Postoje samo zaštitni preljevi A i B.
 e) Postoje zaštitni preljev A, i preljev "Tide flex".

Proračuni su pokazali da je nužna izvedba zaštitnih preljeva A i B, te plimnog preljeva "Tide flex", dok preljev na C.S. Katalinića Brig ima lokalno djelovanje te se njegovom izvedbom smanjuje maksimalan vodostaj na C.S. Katalinića Brig, u nestacionarnom stanju za 0.26 m.

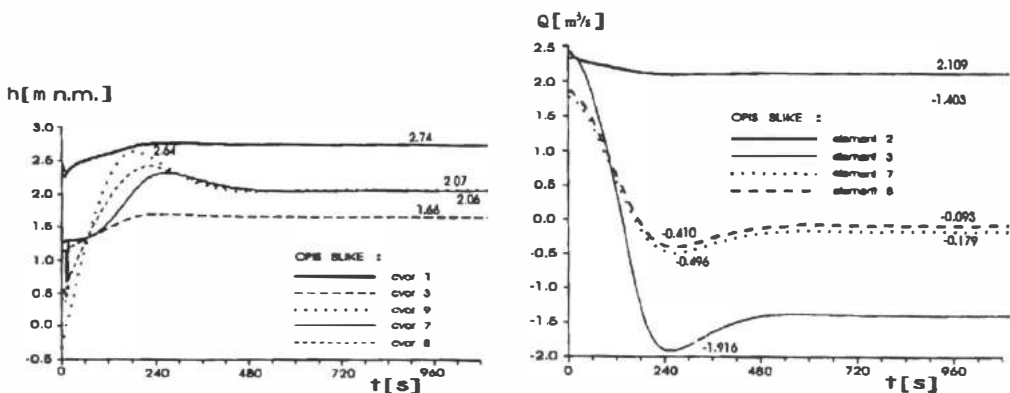
Ovdje će se prikazati samo djelomični rezultati modeliranja.

Na slici 6 prikazani su karakteristični vodostaji i protoci u sustavu za slučaj a. Uočava se da maksimalni vodostaji na svim preljevima (osim na crpnoj stanici) ne prelaze 1.70 [m n.m.], te nema opasnosti od izlivanja otpadnih voda po terenu.



Slika 6. Vodostaji i protoci u sustavu za slučaj a

Na slici 7 prikazani su vodostaji i protoci u karakterističnim točkama sustava, za slučaj e. Na plimnom preljevu i mjestu zaštitnog preljeva B (čvorovi 7 i 8) došlo bi do izlivanja vode kroz slivnike na ulicu.



Slika 7. Vodostaji i protoci u sustavu za slučaj e

5. Zaključak

Provedene simulacije ukazuju da je za ispravno funkcioniranje kanalizacijskog sustava prstena gradske luke Splita u izvanrednim uvjetima potrebno izgraditi zaštitne preljeve A i B, plimni preliv na obalnom kolektoru, te eventualno u konačnom rješenju, manji preliv na crpnom zdencu crpne stanice Katalinića Brig. Iz prikazanog se, nadalje, još zaključuje da se u slučajevima većih kanalizacijskih projekata obvezatno trebaju primjenjivati modeli nestacionarnog toka, bez kojih bi bilo praktično nemoguće ispravno sagledati kompleksnost problema.

Literatura

1. Bojanić, D., Jović, V.: *Studija hidrauličkog ponašanja kanalizacijskog sustava Split-kolektori luka, u uvjetima privremenog rješenja*; "Hidroprojekt - Ing" Zagreb; Split 1994.
2. Jović, V.: *Simpip, User Manual*; Aquarius Software Split, Croatia, Cedra Bv Alkmaar, The Netherlands, 1990.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Neven Kuspilić, Marko Pršić

R 7-03

Zaštita marina plutajućim lukobranima

SAŽETAK: U radu se daje prikaz plutajućih lukobrana kao ekološki prihvatljivijih objekata za zaštitu marina i lučica od valova. Opisuju se mehanizmi kojima se valna visina smanjuje, te se daje prikaz nekih tipova plutajućih lukobrana. U nastavku se komentiraju strogi funkcionalni zahtjevi za dozvoljenu agitaciju bazena marine valovima. Konačno se daju hidrauličke karakteristike plutajućih lukobrana, gdje se upozorava na složenost određivanja njihove efikasnosti određene koeficijentom transmisije. Za najčešće upotrebljavan tip analizirana su teorijska i eksperimentalna istraživanja, te su ustanovljeni uvjeti njegove maksimalne efikasnosti.

KLJUČNE RIJEČI: plutajući lukobran, marina, lučica, val, valna visina, koeficijent transmisije

Floating Breakwater Protection of Marinas

ABSTRACT: The paper describes floating breakwaters as the environment-friendly structures for protection of marinas and small craft harbors against waves. The mechanisms of wave height decrease are shown and some of floating breakwater types described. The comment is given on stringent functional requirements on allowable wave agitation in a marina. The hydraulic characteristics of the floating breakwaters are given, and the complexity is stressed of the method of determination of their efficiency stipulated by the transmission coefficient. For the most frequent type, the theoretical and experimental investigations are analyzed and the conditions for its maximum efficiency determined.

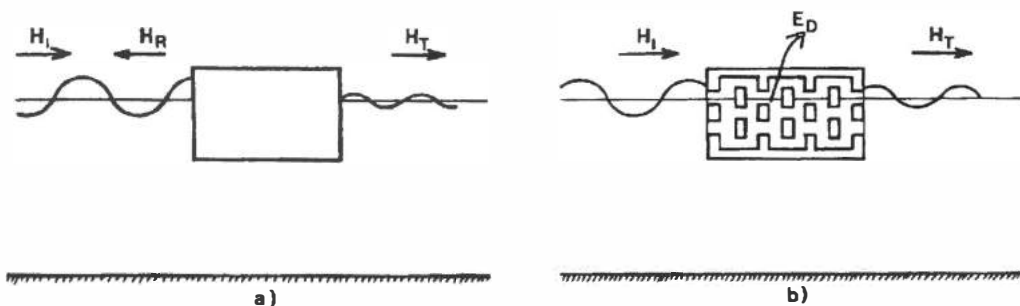
KEY WORDS: floating breakwater, marina, small craft harbor, wave, wave height, transmission coefficient

Uvod

Plutajući lukobrani predstavljaju poznato inženjersko rješenje zaštite akvatorija od valova, no njihova praktična primjena je ograničena na poluzaštićene bazene s valovima malih visina (cca 1 m) i to u vidu privremenih ili faznih rješenja. U zadnje vrijeme se sve više koriste u svijetu, a i kod nas je, u Rovinju, instaliran prvi plutajući lukobran. Prednosti su im: mali utjecaj na okoliš, brzo postavljanje i uklanjanje, niski vizualni profil i mogućnost vezivanja na njih. Mane su im: slaba efikasnost zaštite od valova većih valnih perioda (duljina) i troškovi održavanja uslijed pomaka i oštećenja kod ekstremnih stanja mora iznad radnog valnog područja [1].

Tipovi plutajućih lukobrana i mehanizmi njegovog rada

Veliko je mnoštvo tehničkih rješenja plutajućih lukobrana, što izvedenih, a što projektiranih i ispitivanih na modelu. Kod svih tipova smanjivanje valne visine plutajućim lukobranima ostvaruje se preko mehanizma refleksije valova i preko mehanizma disipacije valne energije. Na slici 1 su shematski prikazani navedeni mehanizmi. Obadva su uvijek prisutni kod svakog tipa lukobrana, ali s različitim doprinosom. Na slici su shematski označeni dolazeći val (ispred lukobrana) H_I , reflektirani val H_R , val iza lukobrana H_T i gubitak valne energije disipacijom E_D .



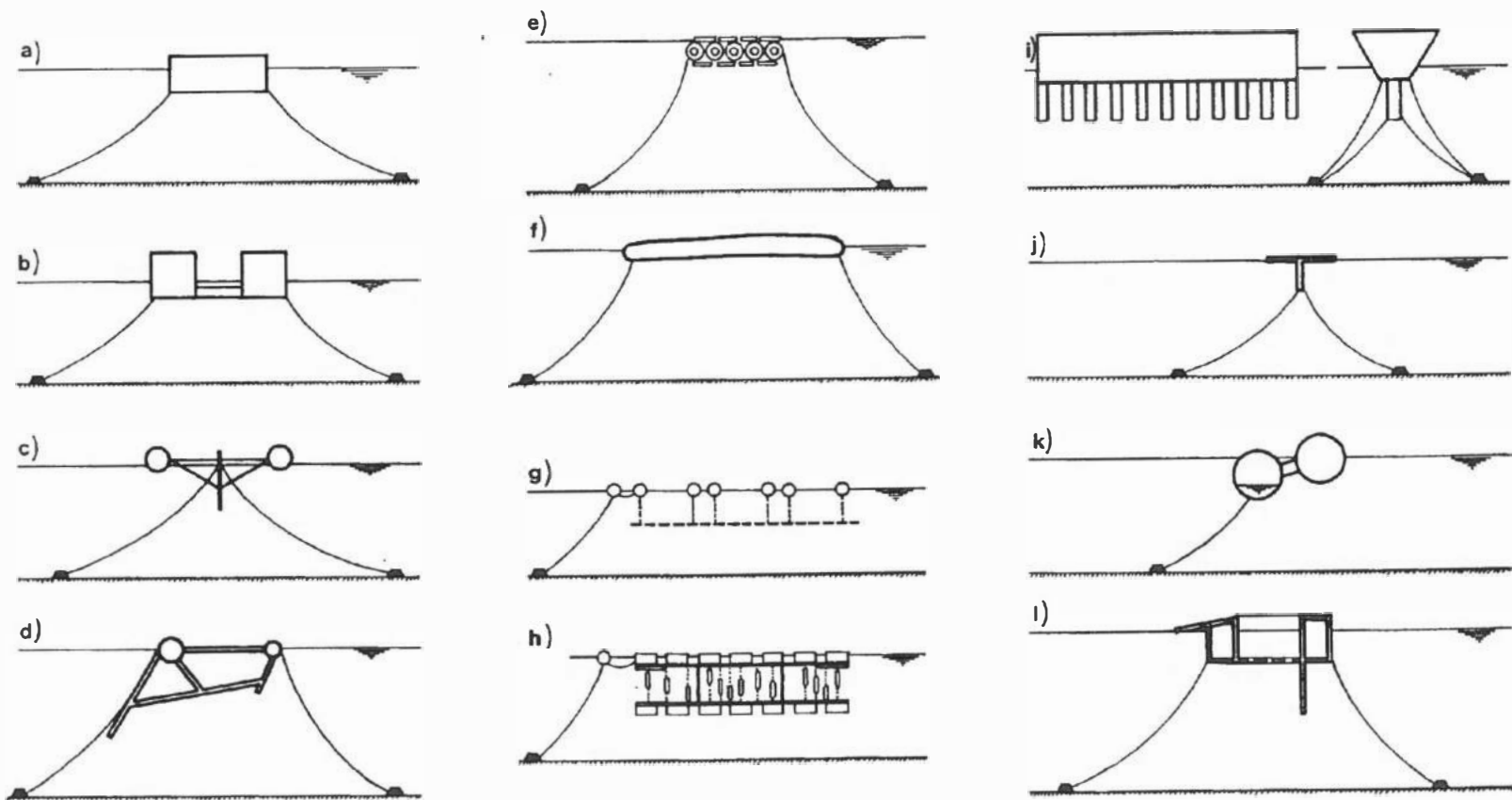
Slika 1. Mehanizmi rada plutajućih lukobrana: a) refleksija; b) disipacija

Fig. 1. Types of floating breakwaters actions: a) reflective; b) dissipative

Uzimanjem u obzir mehanizam rada plutajućih lukobrana na smanjenju valne visine, moguće ih je podijeliti u sljedeće tipove: 1. reflektivni tip koji svojom konstrukcijom djelomično reflektira dolazeće valove, 2. disipativan tip koji konstrukcijom provocira turbulentna strujanja i disipaciju dijela valne energije i 3. kombinirani tip koji podjednako djeluje preko obadva mehanizma. Na slici 2. prikazani su neki primjeri osnovnih tipova plutajućih lukobrana.

Zahtjevi korisnika marina glede agitacije

Dozvoljena valna visina u marinama je jedan od funkcionalnih projektnih kriterija i po tome spada u tehničko - ekonomsku kategoriju. Postoje preporuke koje ih definiraju. Tako su u tablici I dane preporuke kriterija za agitaciju valovima u marinama [7]. Vrijednosti značajne valne visine H_s dane su u ovisnosti povratnog perioda vala PP , valnog perioda T i smjera valova u odnosu na plovila. Za povoljne valne uvjete vrijednosti u tablici mogu se smanjiti za 25%, a za nepovoljne valne uvjete vrijednosti u tablici je potrebno povećati za 25%.



REFLEKTIVNI TIPOVI: a) KVADRATNI PONTON, a) DVOSTRUKI PONTON, c) VERTIKALNI EKLAN S PLOVCIMA, d) KOSI EKLAN S PLOVCIMA

DISIPATIVNI TIPOVI: e) POVEZANE AUTOGUME, f) VREĆA ISPUNJENA MOREM, g) HORIZONTALNA PERFORIRANA PLOČA, h) MREŽA BAČAVA I AUTO GUMA

KOMBINIRANI TIPOVI: i) PLOVAK S VERTIKALNIM CIJEVIMA, j) T EKLAN, k) POLUURONJENI VALJCI, l) PERFORIRANI PONTON S EKLANOM

Slika 2. Neki tipovi plutajućih lukobrana
 Fig. 2. Some types of floating breakwaters

Tablica I Preporuke kriterija za dopuštene valne visine H_s u marinama [7]**Table I** Recommended criteria for the significant wave height, H_s , in marina [7]

Smjer valova u odnosu na plovila	Valni period T (s)	Značajna valna visina H_s (m)		
		PP=50 godina	PP=1 godina	PP=1 tjedan
Uzduž	$T < 2$		0.30	0.30
	$2 < T < 6$	0.60	0.30	0.15
	$T > 6$	0.60	0.30	0.15
Poprijeko	$T < 2$		0.30	0.30
	$2 < T < 6$	0.25	0.15	0.10
	$T > 6$	0.25	0.15	0.10

Zamjetno visoki zahtjevi za dozvoljenu agitaciju u bazenima marina iziskuju na izloženim lokacijama klasične masivne građevine koje stvaraju umjetne barijere po cijeloj dubini mora. Takva rješenja imaju s ekološkog stajališta nedostatak zbog ometanja prirodne cirkulacije mora. Plutajući lukobrani stvaraju barijere samo pri površini, tako da je u pridnenim zonama cirkulacija omogućena, pa su na poluzaštićenim lokacijama ekološki poželjniji.

Hidrauličke karakteristike plutajućih lukobrana

Hidrauličke karakteristike plutajućeg lukobrana, glede zaštite od valova, prvenstveno su u funkciji njegovih dimenzija. Osnovni pokazatelj efikasnosti zaštite lukobranom je koeficijent transmisije C_T (propusnosti) valne energije reprezentirane valnom visinom:

$$C_T = \frac{H_T}{H_I} \leq 1 \quad (1)$$

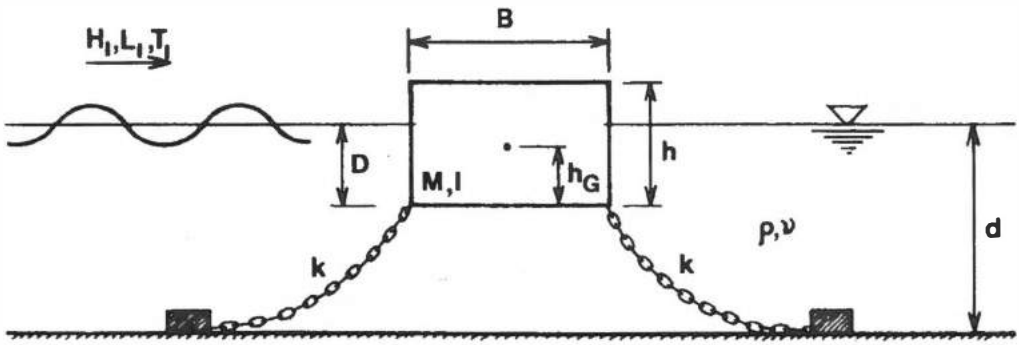
Veličina koeficijenta C_T ovisi o: 1. **geometrijskim karakteristikama lukobrana** (određenim s parametrima: B - širina pontona, h - visina pontona, D - gaz pontona), 2. o **maritimnim uvjetima u kojima se nalazi lukobran** (određenim s parametrima: d - dubina mora, H_I - visina dolazećeg vala, T - period vala, f - frekvencija vala, L_I - duljina dolazećeg vala), 3. o **mehaničkim karakteristikama lukobrana** (određenim s parametrima: h_G - centar mase, M - ukupna masa lukobrana, I - inercija lukobrana, T_{pon} - vlastiti period lukobrana, f_{pon} - vlastita frekvencija lukobrana), 4. o **karakteristikama sidrenog sustava** (određenim s parametrom k - krutost lančanice) i 5. o **viskozim utjecajima** (određenim s parametrom R - Reynoldsov broj). Prikaz spomenutih parametara dan je na definicijskoj skici (slika 3).

Koeficijent transmisije može se prikazati kao funkcija niza bezdimenzionalnih parametara koji uzimaju u obzir spomenute karakteristike [7]:

$$C_T = \left(\frac{B}{L_I}, \frac{d}{L_I}, \frac{H_I}{L_I}, \frac{h}{d}, \frac{M}{\rho Wh}, \frac{I}{MB^2}, \frac{h_G}{h}, \frac{kB}{Mg}, T \right) \quad (2)$$

gdje su:

ρ - gustoća mase mora, g - ubrzanje sile teže



Slika 3. Definijska skica plutajućeg lukobrana

Fig. 3. Definition sketch of floating breakwater

Ova jednačba prikazuje složenost problema i nemogućnost određivanja koeficijenta transmisije bez uvođenja značajnih restrikcija. Smatra se da su najutjecajniji bezdimenzionalni parametri relativna širina lukobrana (B/L_I) i relativna dubina (d/L_I). Zbog toga su u literaturi najzastupljeniji prikazi koeficijenta transmisije C_T u odnosu na spomenute relativne veličine. Izvedena analitička rješenja su vrlo restriktivna i upitne upotrebne vrijednosti. Tako na primjer, rješenje koje je izveo Macagno [7] uopće ne uključuje relativnu dubinu na adekvatan način, pa za potpuno pregrađeni slučaj ($h=d$) koeficijent transmisije poprima vrijednost različitu od nule. Numerički modeli razrađeni uz pretpostavku potencijalnog strujanja daju prihvatljiva rješenja za vrlo jednostavne tipove plutajućih lukobrana. Za složenije tipove potrebno je efikasnost provjeriti na fizikalnom modelu, što se preporučuje i za jednostavnije tipove ukoliko su geometrijski i hidraulički okolišni uvjeti složeni.

Najčešće upotrebljavan tip lukobrana je u vidu jednostrukog pontona kvadratnog poprečnog presjeka. Za taj tip lukobrana postoje neka teorijska i eksperimentalna istraživanja koja su pokazala da je najniži mogući koeficijent transmisije:

$$C_T^{\min} = 0,3$$

tj. najveća moguća efikasnost takovog plutajućeg lukobrana je smanjenje dolazeće valne visine na 30% njezine vrijednosti na položaju iza lukobrana. To vrijedi za uvjete kada valovi dolaze okomito na lukobran, te za neka prilično stroga ograničenja geometrijskih karakteristika pontona i uvjeta u kojima se on nalazi. Generalno to su $H_I < 1.2\text{m}$, $T < 3\text{s}$, $L_I < 14\text{m}$, $B > L_I/2$ ($B \rightarrow \infty$) [2].

Za maksimalnu efikasnost plutajućeg lukobrana njegova vlastita frekvencija mora biti manja ili puno manja od frekvencije vala:

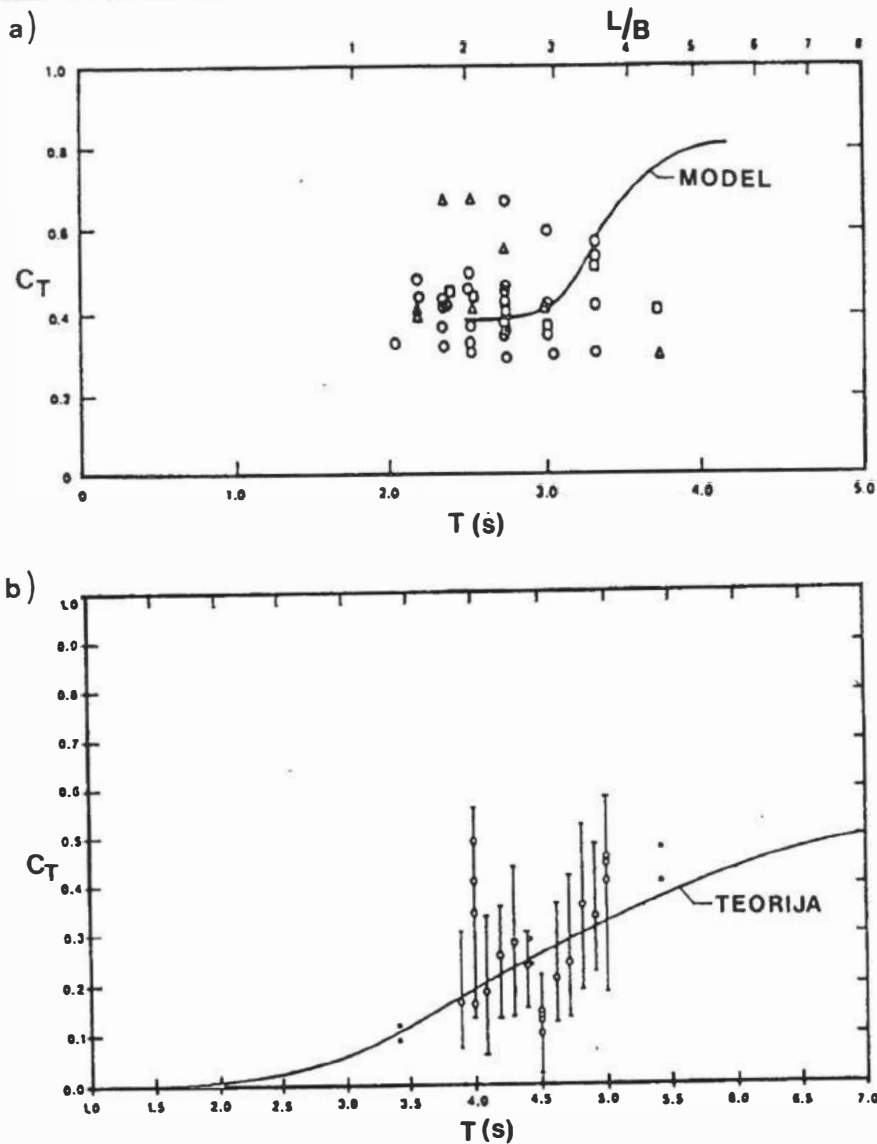
$$f_{\text{pon}} < f$$

odnosno njegov vlastiti period mora biti mnogo veći od perioda vala:

$$T_{\text{pon}} > T$$

Jasno je da je najefikasniji potpuno fiksni ponton, a gornji zahtjevi teže tom uvjetu [3]. Silvester [4] preporuča odnos:

$$T_{\text{pon}} > 2 * T$$

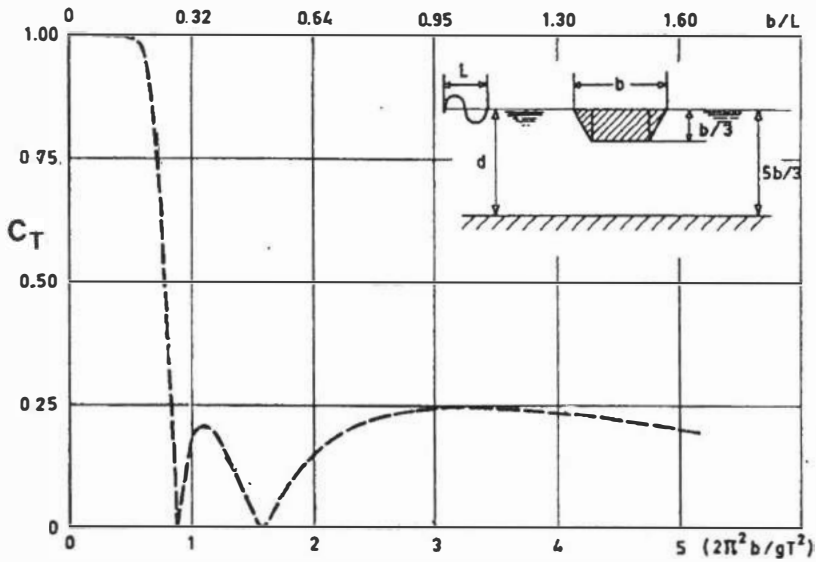


Slika 4. Koeffcijent transmisije za fiksni i plutajući površinski lukobran u funkciji valnog perioda i relativne valne duljine prema ispitivanjima na prototipu (a) i modelskom ispitivanju (b) [2]

Fig. 4. Transmission coefficient for rigid floating breakwater versus wave period and relative wavelength: prototype (a); laboratory data (b) [2]

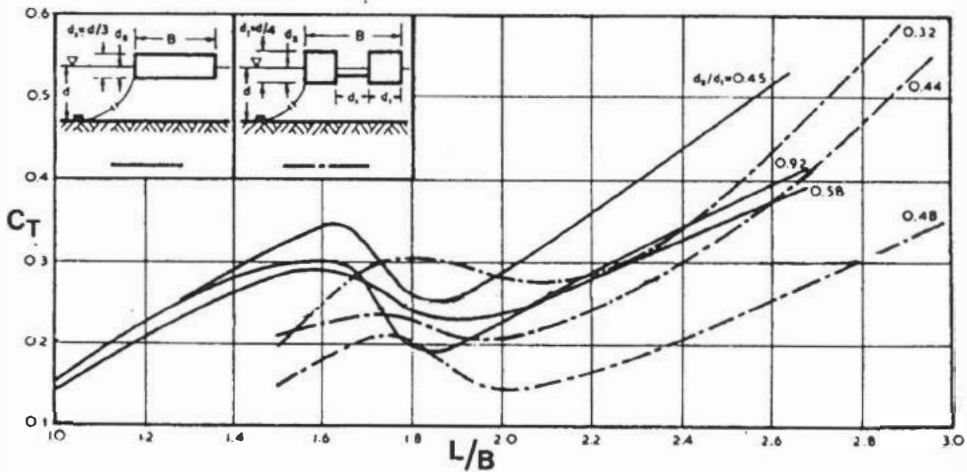
Da bi se dobila maksimalna efikasnost površinskog plutajućeg lukobrana njegova širina mora biti što veća. Kao što se vidi na slici 5. teorijski bi širina pontona morala biti $B > L/3$. No modelski eksperimenti dani na slici 6. definiraju maksimalnu efikasnost pontona u području $B > L/2$ što znači da je minimalna širina pontona $B = L/2$ kako i preporuča literatura [5].

Prema slici 6. može se ustanoviti da za maksimalnu efikasnost plutajućeg lukobrana njegov gaz u odnosu na dubinu dna treba biti $D > d/5$, a prema literaturi važan je i odnos širine i gaza koji se preporučuje $D = B/2,5$.



Slika 5. Teorijske vrijednosti koeficijenta transmisije u funkciji širine pontona [6]

Fig. 5. Theoretical transmission coefficient versus breakwater beam [6]



Slika 6. Eksperimentalne vrijednosti koeficijenta transmisije u funkciji širine pontona [4]

Fig. 6. Transmission coefficient versus breakwater beam, laboratory data [4]

Zaključak

Kriteriji dozvoljene agitacije valovima marina i lučica za nautički turizam su vrlo strogi. Klasična rješenja zaštite od valova manje izloženih lokacija marina masivnim gravitacijskim lukobranima su često ekološki neprihvatljiva. Plutajući lukobrani predstavljaju moguće rješenje problema zaštite od valova. Imaju ekološke prednosti jer je cirkulacija mora ispod njih nesmetana, a isto tako je u slučaju potrebe njihovo uklanjanje vrlo jednostavno, za razliku od klasičnih rješenja gdje je to vrlo teško izvodivo. No njihova je upotreba ograničena na zaštitu od relativno kratkih i niskih valova. Za valove perida većeg od 4 do 5 (s) primjerenija su klasična rješenja s masivnim građevinama. Bez obzira na tip lukobrana, efikasnost im je preporučljivo provjeriti na fizikalnom modelu.

Literatura

- [1] Gilbert, C.H.G.: *Low Cost Wave Protection with Particular Reference to Scrap Tyre Floating Breakwaters and Wave Screens*, Marinas, Proceedings of Int. Conf. on Marinas, Computational Mechanics Publications, Southampton, 1989.
- [2] Cox, C.J.: *Breakwater Attenuation Criteria and Specification for Marina Basins, Marinas, Proceedings of Int. Conf. on Marinas, Computational Mechanics Publications Southampton, 1989.*
- [3] Gaythwaite, J.P.E.: *The Marine Environment and Structural Design*, Van Nostrand Reinhold Comp., New York, 1981.
- [4] Silvester, R.: *Coastal Engineering 1*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1974.
- [5] Kallmeyer, C.R.: *Principles of Operational and Application of Fixed and Floating Wave Attenuators for Marinas, Marinas, Proceedings of Int. Conf. on Marinas, Computational Mechanics Publications, Southampton, 1989.*
- [6] Bonnefille, R.: *Cours d'hydraulique maritime*, Masson, Paris, 1976.
- [7] Permanent International Association of Navigation Congresses: *Floating Breakwater - A Practical Guide for Design and Construction*, 1994.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Mira Filipović:

R 7-04

Analiza efekata izvedenih radova u Srednjem Posavlju

SAŽETAK: *Srednje Posavlje sinonim je za višenamjenski vodoprivredni sustav u dolini Save i Kupe od državne granice sa Slovenijom do Gradiške. Predviđen je za zaštitu od poplava neposrednog zaobalja, vrlo visokog stupnja sigurnosti, i za poboljšanje stanja na nizvodnom potezu Save. Građevinskim i upravljačkim rješenjima želi se promijeniti režim velikih voda na način da se u glavnim tokovima održavaju tolerantne protoke i razine, a da se višak voda kontrolira paralelnim sustavom oteretnih kanala i oteretnih retencija s pratećim objektima, poštujući interese svih korisnika prostora.*

Potrebno je, na temelju današnjih znanja, kriterija i prioriteta, ocijeniti efekte dosadašnjih izgradnji, ustanoviti kritične točke i definirati strategiju razvoja, kako bi se osiguralo da svaki pojedinačni planirani zahvat bude optimalni korak ka konačnom rješenju.

Nakon višekratnih pokušaja analize sustava aproksimativnim metodama, razvijen je matematički hidrodinamički model Srednjeg Posavlja. Simulacijom na modelu ispitivano je djelovanje sustava u postojećem stanju izgrađenosti. Obradeno je niz hipotetskih poplavnih situacija različitih vjerojatnosti pojavljivanja i simulacijski rezultati uspoređeni s velikovodnim režimom prirodnoga i projektiranoga stanja. Otkrivene su posljedice izvedenih radova i dostignuta sigurnost u cijelom analiziranom prostoru.

KLJUČNE RIJEČI: *Srednje Posavlje, zaštita od poplava, velikovodni režim, stupanj sigurnosti, numerička simulacija*

Analysis of the Effects of Completed Central Posavlje Projects

ABSTRACT: *The Central Posavlje is a synonym for multipurpose river basin development scheme in the Sava and Kupa River valleys, from the state border with Slovenia to the town of Gradiška. The system was intended for high safety level flood control in the immediate river valley and improvement of situation in the downstream Sava stretch. The building and management solutions are aimed at change in flood regimes so that tolerable discharges and water levels are maintained in the main streams, and the excessive water is controlled by a parallel system of relief canals and flood storages with appurtenant facilities, respecting interests of all space users.*

Based on the present information, criteria and priorities it is necessary to evaluate the effect of the projects completed so far, find the critical points and define development strategy in order to ensure that each planned project is an optimum step towards the final solution.

After repeated attempts to analyze the system by approximate methods, a hydrodynamic mathematical model was developed for the Central Posavlje region. A number of hypothetical flood situations of different occurrence probability was analyzed, and the simulation results were compared with a flood regime of natural and design status. The consequences of completed works were identified, and safety achieved within the entire analyzed area.

KEY WORDS: *the Central Posavlje region, flood control, flood regime, safety level, numerical simulation*

Uvodna razmatranja

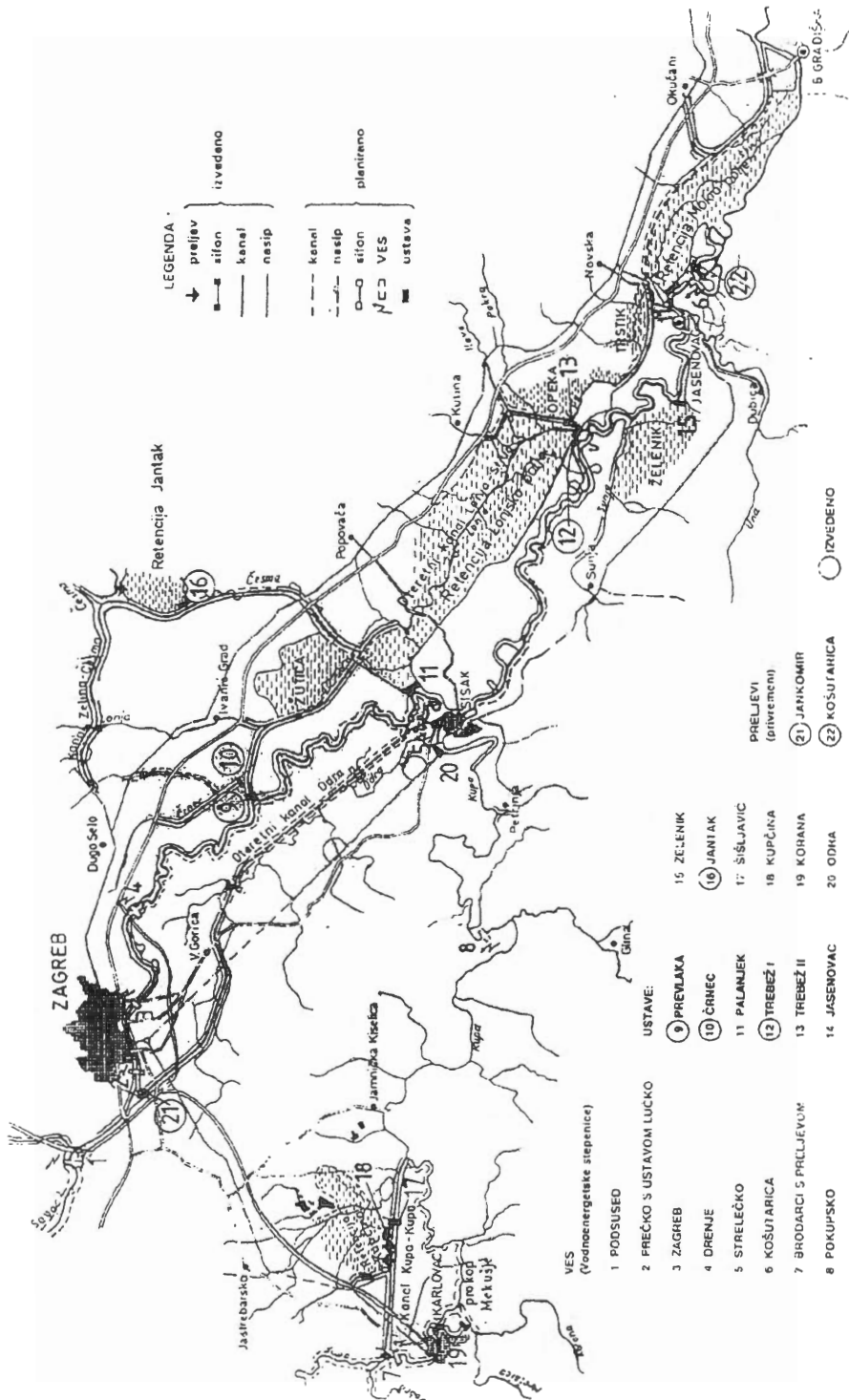
Zaštitni sustav Srednje Posavlje ima dugu povijest razvoja. Kao zaokruženi vodoprivreni plan datira s početka sedamdesetih godina. Danas se pod konačnim rješenjem podrazumijeva jedna reducirana varijanta izvorne koncepcije koja se, zbog društvenih, ekoloških, gospodarskih, financijskih i drugih razloga, smatra dugoročno optimalnom. Planirani objekti i mjere i buduća prostorna i vremenska raspodjela velikih voda utvrđeni su i detaljno opisani u bogatoj studijskoj i projektnoj dokumentaciji.

Na prirodnu riječnu mrežu ograničenih propusnih mogućnosti uklopljeni su oteretni kanali Odra, Lonja-Strug, Kupa-Kupa i nizinske retencije Lonjsko polje, Mokro polje, Zelenik i Kupčina s nizom distribucijskih objekata za manipuliranje vodama (sl.1). Kontroliranom transformacijom poplavnih valova želi se bitno reducirati površina izložena plavljenju i učestalost poplavlivanja te na zaštićenom dijelu osigurati uvjeti za nesmetano gospodarsko korištenje. Značaj sustava može se ocijeniti usporedbom dvaju referentnih stanja: "prirodnoga", koje odgovara situaciji prije početka realizacije sustava i projektiranoga, koje odgovara situaciji s potpuno izgrađenim sustavom. Kratki prikaz tih stanja (tab.1) preuzet je iz postojeće vodoprivredne dokumentacije (lit. 1,2,3,4).

Table 1 Karakteristike prirodnoga i projektiranoga velikovodnoga režima 100-godišnjeg povratnog perioda

Table 1. *Natural and projected flood characteristics of the 100-year return period*

Vodotok	Profil	Stacionaža (m)	Prirodno stanje		Projektirano stanje	
			Q(m ³ /s)	h(mnm)	Q(m ³ /s)	h(mnm)
Sava	Mačkovac	459436	3156	95.15	2800	93.64
Sava	Jasenovac	525136	2864	96.08	2855	95.51
Sava	Crnac	599300	2540	100.45	2270	99.40
Sava	Rugvica	673170	2465	105.46	2670	104.68
Sava	Zagreb	702760	3143	117.26	2650	116.75
Mokro polje	M.Strug	5000		95.46		94.53
Mokro polje	Bročice	28850		96.90		95.33
Mokro polje	Trebež	45000		97.98		96.88
Lonjsko polje	Trebež	45000		98.06		98.44
Lonjsko polje	Stružec	68900		97.64		98.44
Lonjsko polje	Pos.Bregi	90750		98.50		98.44



Slika 1. Vodoprivredno rješenje Srednjega Posavlja
 Figure 1. Multipurpose hydrodevelopment solution of the Central Posavje region

Dugogodišnji period hidroloških opažanja, naročito sistematiziranih od 1926.-1974. godine, omogućio je definiranje prirodnoga velikovodnoga režima i stupnja ugroženosti cijelog nizinskog područja uz srednji tok Save i Kupe. Radi se o velikoj morfološkoj depresiji predodređenoj za ekspanziju velikih voda. U prirodnom stanju je usrednjena godišnje plavljena površina iznosila 205000 ha, površina od 280000 ha dolazila je pod vodu s frekvencijom 2%, a površina od 292000 ha s frekvencijom 1%. Stihijsko reteniranje razlog je izrazitog spljoštenja vodnoga vala i produženja vremena koncentracije i lokalno i na donjem dijelu toka Save. Planiranim rješenjem, u konačnici bi pod vodu trebali dolaziti samo rezervirani retencijski i ekspanzijski prostori u ukupnoj veličini od 58 880 ha (Lonjsko polje 25 920 ha, Mokro polje 20 510 ha, Zelenik 7 400 ha, Kupčina 5 050 ha), što iznosi tek četvrtinu prirodno plavljenih površina. Budući režim velikih voda, koji se očekuje nakon izgradnje objekata sustava, i koji se očekuje nakon izgradnje objekata sustava i na kojemu se temelje svi vodoprivredni planovi i projekti, definiran je probabilističkim metodama i stacionarnim proračunima i višestruko provjeravan aproksimativnim postupcima, uz stalne preporuke za upotrebu modela adekvatnijih složenim hidrološko-hidrauličkim procesima i složenoj dinamici odvijanja poplava u prostoru Srednjeg Posavlja.

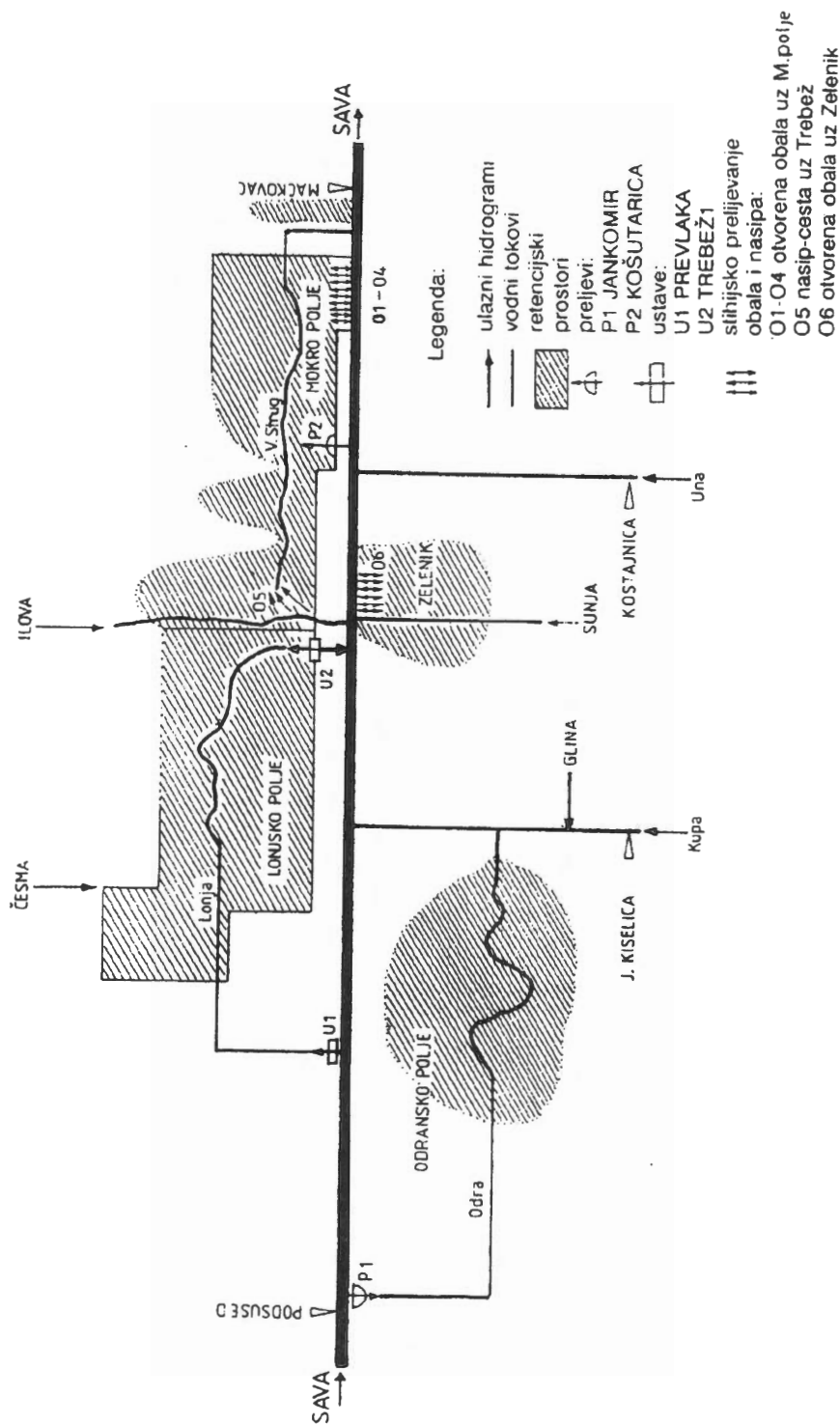
Potreba za pouzdanom i detaljnom verifikacijom tehničkog i upravljačkog rješenja bila je povod za izradu matematičkoga modela za simulaciju nestacionarnoga tečenja u Srednjem Posavlju (lit. 5,6). Model je definiran i zadovoljavajuće testiran korištenjem svih raspoloživih topoloških, geodetskih, hidrauličkih i hidroloških podloga. Zasniva se na potpunim hidrodinamičkim jednadžbama mirnoga tečenja u koritima složenoga presjeka a numerički rješava tehnikom konačnih elemenata. Za kalibriranje modela postojećega stanja izgrađenosti korišteni su vodni valovi iz perioda 1982.-1991., unutar kojega se stanje sustava nije bitno mijenjalo. Modifikacije modela, koje se odnose na buduće dogradnje, izvedene su teoretski ili po analogiji sa sličnim hidrotehničkim objektima poznatih funkcionalnih karakteristika. Izrađeni model može se upotrijebiti za analizu realiziranoga stanja i procjenu potencijalnih varijanti, s ciljem da se definira optimalna strategija razvoja.

Definiranje problema

U okviru ovoga rada žele se, simulacijom na modelu, otkriti efekti dosad izgrađenih objekata i dostignuti stupanj zaštite od poplava.

Procjenjuje se da je izvedeno oko 40% svih planiranih radova na sustavu. Osim gradnje i rekonstrukcije nasipa, građeni su i oteretni objekti za zaštitu gradova i velikih melioracijskih kazeta. Računa se da je u sadašnjem stanju poplavna površina ograničena na ukupno 109900 ha (Lonjsko polje 25920 ha, Mokro polje 20510 ha, Zelenik 7400 ha, Odransko polje 20000 ha, Kupčina 36070 ha). Ta procjena ne uzima u obzir nedovršenost nasipa, što je ponovljeno i u simulacijskom postupku. Nije simulirano realno već idealizirano stanje nasipa, s pretpostavkom da se, mjerama neposredne obrane, ukupna protoka može zadržati unutar zaštitnih linija, osim na mjestima gdje model izričito dopušta drugačije, a to su mjesta bočnog kontroliranog ili nekontroliranog oterećivanja u zaobalje. Postsimulacijska analiza pokazat će koliko je, gdje i kada ta pretpostavka ostvariva.

Želi analizirati savski dio sustava, ograničen rubnim profilima Podsused, J. Kiselica, Kostajnica, Mačkovac. Dotoci u ulaznim rubnim profilima smatraju se prirodnim, što vrijedi i za ulaz na Kupi, jer izgrađeni objekti uzvodno od J. Kiselice ne zadržavaju vodne mase, samo im mijenjaju put.



Slika 2. Topološka shema postojećega zaštitnoga sustava
 Figure 2. Topological scheme of the actual flood control system

Sadašnje stanje aproksimira se linijskim strujanjem duž Save, Kupe, Une, Vrbasa, kanala Odra i Odranskog polja, kanala Lonja-Strug i Lonjskog polja, depresije Opeka uz Trebež i preloženu Ilovu, Mokrog polja i Zelenika, s retencijskim poljima uključenim u punoj plavljenj širini. Modelirano je uređenim skupom od 324 elementa, 326 čvorova i niz unutarnjih uvjeta na mjestima s bočnom komponentom toka (sl.2).

Zaključci o sustavu izvode se iz računskih stanja dobivenih modelskom transformacijom rubnih hidroloških veličina, i dobri su ako je model dobar i ako su upotrijebljeni ulazni podaci mjerodavni za cilj analize. Budući da se Srednje Posavlje dimenzionira na veliku vodu vjerojatnosti pojavljivanja 1% (iznimno 0.1%), posebno su interesantne razine, protoci i drugi pokazatelji poplavne ugroženosti (plavljena površina, trajanje poplave) tog povratnog perioda.

Uobičajeno je potpunu sliku modelskoga velikovodnoga režima tražiti u simulaciji povijesnih valova iz cjelokupnog perioda opažanja, po jedan val godišnje, što predstavlja vjerodostojni statistički kolektiv, i probabilističkoj analizi eksperimentalnih stanja. To je opsežna, do sada neobavljena obrada, a upitno je bi li uopće dala valjane rezultate za male frekvencije. Povijesni fond valova vrlo slabo pokriva ekstremne pojave, a upravo one su najinteresantnije jer prolaze izrazitu transformaciju i intenzivno opterećuju kapacitete sustava. Objekti sustava aktiviraju se iznad nekih graničnih stanja i uzrokuju artifično grupiranje transformiranih protoka i razina koji, zbog svoje takve prirode, ne slijede standardne zakone raspodjele i ne mogu se jednostavno ekstrapolirati. Ekstremne pojave treba posebice istraživati.

Ovaj rad se temelji na obradi karakterističnih nepovoljnih hidroloških situacija koja može dati okvirnu sliku funkcioniranja postojećega sustava i detektirati njegove kritične točke. Simuliran je niz hipotetskih vodnih valova, namjenski definiranih za ovu svrhu korištenjem standardnih vodoprivrednih metoda i podloga (lit. 7). Izabrani su valovi različitih veličina, oblika, geneza i stupnja interferencije, grupirani po povratnom periodu pojavljivanja P:

1. teoretski val konstruiran iz P-godišnje Save i korespondentnih pritoka
2. teoretski val konstruiran iz P-godišnje Kupe i korespondentne Save
3. teoretski val konstruiran iz P-godišnje Une i korespondentne Kupe i Save
4. poplavni val iz 1964. ponderiran na P-godišnji volumen
5. poplavni val iz 1966. ponderiran na P-godišnji volumen
6. poplavni val iz 1974. ponderiran na P-godišnji volumen

Navedeni valovi usporedivi su po svom vršnom segmentu, koji predstavlja P-godišnji probabilistički volumen iznad protoke 90%-tnog trajanja. Valovi određene grupe ($P=100, 50, 20, 10, 5$ godina) opterećuju sustav jednakim vršnim opterećenjem, a razlikuju se po prostornoj i vremenskoj raspodjeli ukupne vodne mase u rubnim profilima. Upravo su i birani po kriteriju da pokriju različite moguće stohastičke realizacije ulaznih dotoka. Pretpostavka je da ovakav fond vodnih valova dovoljno široko pokriva dijapazon velikih voda frekvencije $(1/P)\%$, te se može očekivati da unutar tog dijapazona leže probabilističke karakteristike P-godišnjeg povratnog perioda sadašnjeg stanja.

Osim o izgrađenosti sustava i veličini i dinamici ulaznih dotoka, razvoj poplavnog stanja duž sustava ovisi i o upravljačkim kriterijima. Mada se zasad radi o niskom stupnju kontrole, izgrađeni objekti mogu značajno utjecati na raspodjelu vodnih masa. Upravljive su ustave Prevlaka i Trebež 1, kojima se kontrolira komunikacija Lonjskog polja s vanjskim recipijentima. Zbog nezavršenosti objekata, posebno retencijskih, u kritičnim situacijama nije jednostavan izbor optimalne upravljačke po-

litike. Branjenjem jednog dijela prostora ugrožava se drugi, a odnose između poboljšanja na jednoj i pogoršanja na drugoj strani teško je vrednovati. Okvirni redoslijed prioriteta, poštivan pri simulaciji, je: obrana Zagreba, Siska i Jasenovca, uređenih poljoprivrednih površina, ostalih površina.

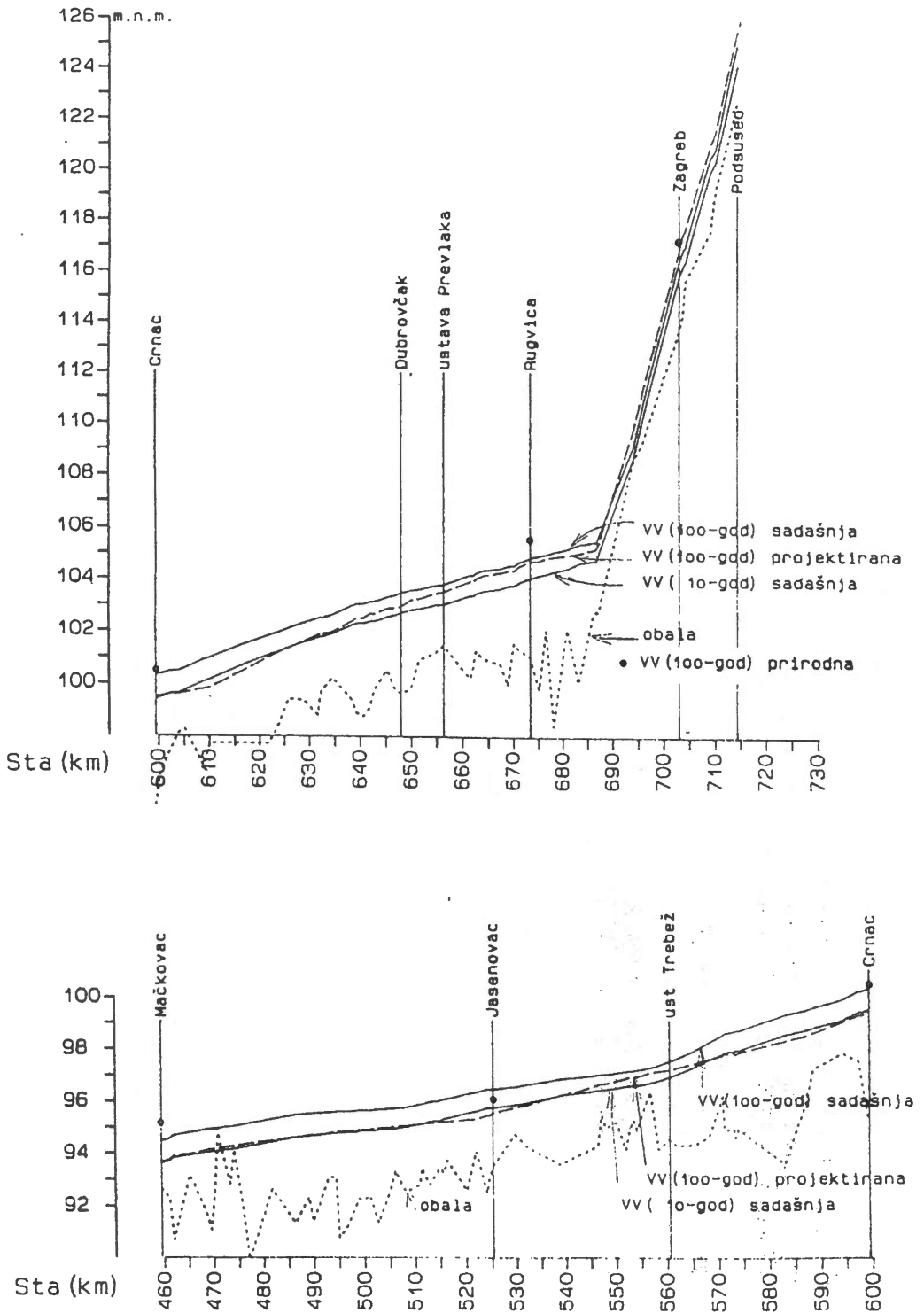
Režim velikih voda i stupanj zaštite od poplava u sadašnjem stanju izgrađenosti

Na sl.3 i 4 sažeto su prikazani osnovni rezultati simulacije, zajedno s podacima za prirodno i projektirano stanje. Vodne linije na prikazima predstavljaju usrednjene anvelope maksimalnih vodnih razina simuliranih valova i mogu se smatrati zadovoljavajućom aproksimacijom analiziranih pojava. Rasipanje pojedinačnih vrijednosti oko usrednjene linije značajno je, ovisi o prirodi vala i brojčano je ilustrirano za 100-godišnju pojavu (tab 2). Prema prethodnom objašnjenju, radi se o vodnim razinama koje bi se uspostavile u Savi i retencijama uz pretpostavku da nema prelijevanja nasipa, tj. da je plavljenje ograničeno na rezerviranih 109900 ha uređenih i prirodnih retencija.

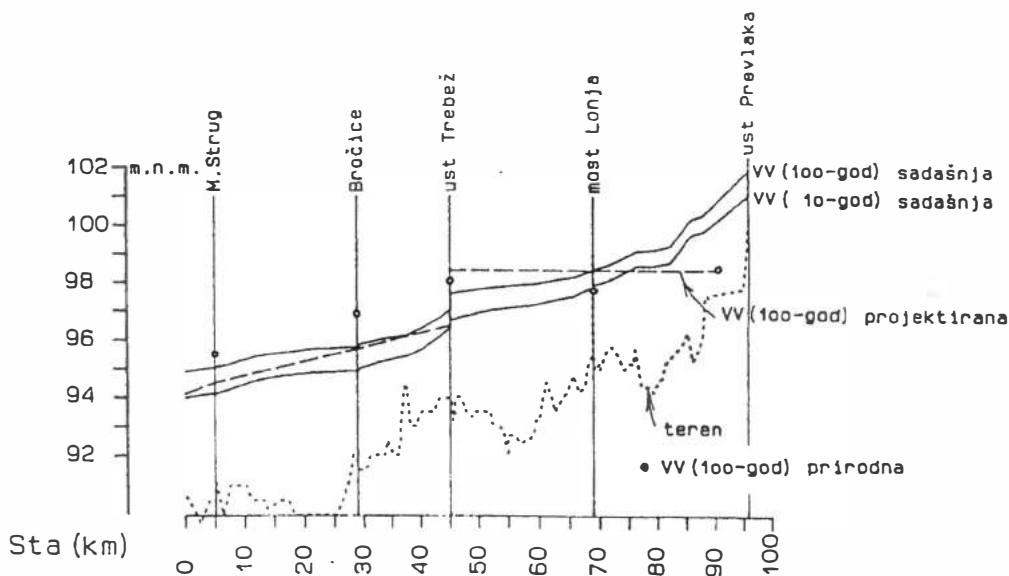
Tablica 2. Maksimalne vodne razine (m n.m.) i protoke (m³/s) sadašnjeg stanja 100-godišnjeg povratnoga perioda

Table 2. Actual water peak absolute elevations (m) and discharges (m³/s) of the 100-year return period

Profil	Val 1	Val 2	Val 3	Val 4	Val 5	Val 6	Srednja vrijednost
RAZINE:							
Mačkovac	94.14	94.26	93.78	94.75	95.04	94.65	94.44
Jasenovac	96.13	96.31	95.86	96.69	96.96	96.59	96.42
Crnac	99.42	101.12	100.06	100.60	100.42	100.28	100.32
Rugvica	105.71	104.55	103.47	105.37	104.98	104.83	104.82
Zagreb	116.92	115.91	115.23	116.82	116.71	116.56	116.36
Bročice	95.38	95.54	95.15	96.06	96.27	95.92	95.72
Stružec	98.16	98.15	98.21	96.74	99.19	98.20	98.44
Pos.Bregi	101.07	101.05	100.85	101.11	101.00	100.59	100.95
Zelenik	96.52	96.77	96.79	97.35	97.51	97.17	97.02
Odransko	99.96	99.58	99.29	99.78	99.30	99.48	99.56
PROTOKE:							
Mačkovac	2710	2859	2629	3467	3335	3109	3018
Jasenovac	2516	2485	2698	2635	2952	2923	2702
Crnac	2146	3164	2435	2751	2588	2611	2616
Dubrovčak	2220	1580	1409	2013	1862	1786	1812
Rugvica	2735	2056	1622	2555	2416	2321	2284
Zagreb	2785	2044	1582	2706	2628	2510	2376



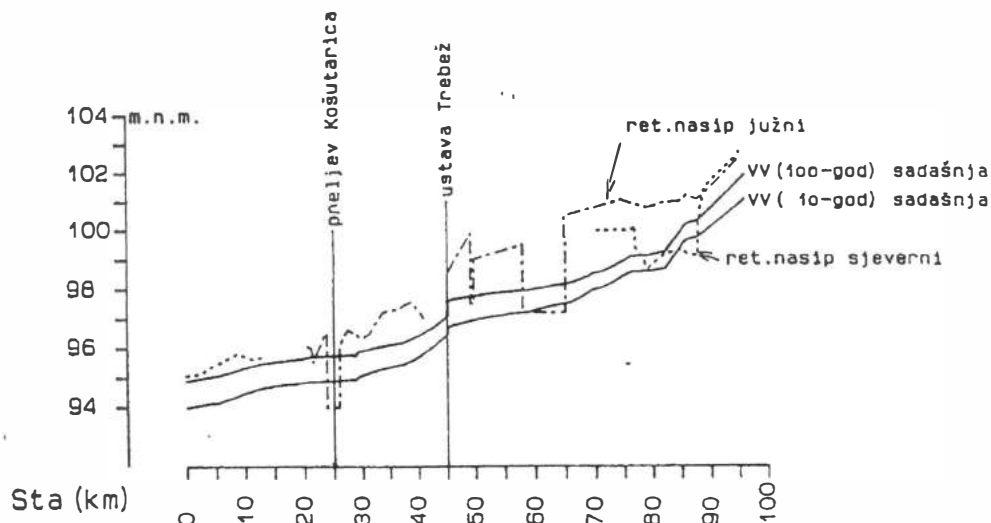
Slika 3. Uzdužni prikaz maksimalnih vodnih razina rijeke Save
Figure 3. Longitudinal water peak elevation profiles of the Sava river



Slika 4. Uzdužni prikaz maksimalnih vodnih razina Lonjskoga i Mokroga polja
Figure 4. Longitudinal water peak elevation profiles of the leftbank retention basins

Hipotetska situacija nepreljevanja nasipa apsolutno je ostvariva na užem zagrebačkom području (od Jankomira do Drenja). Dosad izvedenim objektima sustava (preljev Jankomir, ustava Prevlaka, obostrani savski nasipi) cijeli taj prostor je potpuno zaštićen od voda vjerojatnosti pojavljivanja 1% (i viših, što nije posebno ispitivano). U odnosu na prirodno 100-godišnje stanje, simulacijski rezultati upućuju na značajno sniženje maksimalnih nivoa, usprkos potpunoj zaštiti zaobalja. U odnosu na projektirane 100-godišnje razine, srednji simulacijski rezultati su čak nešto niži (i zato što uključuju valove 2 i 3, koji ovdje ne dosižu 1%-tni volumen) i potvrđuju sigurnost zaštitnoga rješenja za Zagreb. Nešto nepovoljnija u odnosu na konačna očekivanja, ali ipak branjiva od prosječnih 100-godišnjih velikih voda, je dionica Save između Drenja i Prevlake.

Na sisačkom i jasenovačkom području slika aktualnoga stanja je sasvim drugačija. S raspoloživim rasteretnim kapacitetima, stogodišnji nivoi se ne mogu reducirati ni blizu projektiranim vrijednostima, osim lokalno, kod Trebeža, gdje veliko bočno odlijevanje kroz ušće Trebeža i Sunje stvara izrazitu depresiju. Kako se radi o punjenju otvorenih retencija, na nizvodnom kontaktu voda se vraća u Savu održavajući u njoj visoke razine. Općenito, stanja u retencijskim poljima formiraju se slobodnom komunikacijom sa rubnim vodotocima i ovise o denivelaciji i protočnim karakteristikama dotičnoga profila. Izuzetak je Lonjsko polje koje se, u odnosu na vanjske vode, može potpuno kontrolirati. Istočni nasip polja prekida kontinuitet prirodnog paralelnog strujanja, zadržava dio voda i snižava razine duž Mokrog polja i najnižvodnijeg dijela Save. Maksimalni sadržaj retencija u 100-godišnjem slučaju iznosi 252 hm³ za Odransko polje, 722 hm³ za Lonjsko polje, 698 hm³ za Mokro polje i 128 hm³ za Zelenik. Simulacijski rezultati, s obzirom na postojeće stanje obrambenih nasipa, pokazuju da je na cijelom potezu između Prevlake i Mačkovca osigurana zaštita od 10-godišnjih poplavnih voda sadašnjeg stanja, s tim da su retencijski nasipi Lonjskog polja na najkritičnijim mjestima i ispod tog praga (sl.5). Uz važeće kriterije aktiviranja



Slika 5. Postojeće stanje retencijskih nasipa Lonjskoga i Mokroga polja
Figure 5. Actual levee elevations of the retention basins

ustave Prevlaka, najprije dolazi do ugrožavanja iz retencije uređenih poljoprivrednih površina sjeverno od Žutice i naselja i melioracijskih kazeta između južnog retencijskog nasipa i Save. Vjerojatnost prelijevanja savskih nasipa varira po dionicama od 10%-tne do skoro 1%-tne. Kod aktualnih 100-godišnjih vodnih razina malo se toga može obraniti, a granice plavljenja nalaze se blizu prirodnoj poplavnoj liniji.

Iz usporedbe simuliranih valova pojedinačno, vidljivo je da u gornjem dijelu sustava najnepovoljnija stanja, ali i najučinkovitija obrana, nastaju djelovanjem ekstremnih savskih dotoka (valovi 1 i 4). Na srednjem, sisačkom dijelu, zbog male mogućnosti za intervenciju, kritični su ekstremni kupski valovi (val 2), a na donjem dijelu dugotrajne poplave s više uzastopnih valova, nezavisno o njihovim amplitudama (val 5).

Zaključak

Izvršena simulacijska analiza postojećega sustava Srednje Posavlje može se sažeti u nekoliko konstatacija i sugestija korisnih za planiranje neposrednih zahvata na sustavu:

- dosad izgrađeni objekti zaštitnoga sustava pružaju očekivanu prostornu zaštitu (sa 109900 ha plavljenju prepuštenih površina) za poplave do 10-godišnjeg povratnog perioda,
- veći vodni valovi, zbog nedovršenosti zaštitnih nasipa, dodatno ugrožavaju dijelove uređenih poljoprivrednih površina i naselja,
- potpuna zaštita od savskih voda osigurana je samo za zagrebačko područje,
- oteretni kapaciteti, izgrađeni ili prirodni, omogućuju veliko rasterećivanje glavnih recipijenata, veće od prihvatnih mogućnosti zaobalnih retencija,
- izgradnjom novih distribucijskih objekata dobilo bi se na kvaliteti (upravljivosti), ali ne bitno na kvantiteti, jer se i postojeće oteretne mogućnosti ne mogu efikasno iskoristiti,

- prioritete bi vjerojatno trebalo usmjeriti na privođenje retencija njihovoj punoj svrsi: prihvaćanja i privremenog zadržavanja dijela poplavnih voda,
- pritom bi trebalo računati s izvjesnim redefiniranjem nekih retencijskih elemenata (npr. kote punjenja Lonjskog polja, koja ne može biti jednostavna funkcija reteniranog volumena, već mora respektirati dinamiku procesa punjenja tijekom kojega već postojeći upusni kapaciteti u uzvodnom dijelu retencije uspostavljaju značajno više nivoe od projektiranih),
- matematički model bi trebalo upotrijebiti za analizu pojedinačnih potencijalnih zahvata na sustavu i definiranje optimalnoga plana.

Literatura

1. Filipović, M.: Matematički model Srednjeg Posavlja - savski podsustav, JVP Hrvatska vodoprivreda, Zagreb, (radni materijal)
2. Jović, V., Vranješ, M., Bojanić, D.: Matematički model Srednjeg Posavlja, Građevinski fakultet Split, Split, 1991.
3. Kratofil, L. i sur.: Hidrogrami velikih voda Save i pritoka, OVP Zagreb, Zagreb, 1990.
4. Srebrenović, D. i sur.: Analiza režima velikih voda Save, Direkcija za Savu, Zagreb, 1975.
5. Srebrenović, D. i sur.: Hidrologija melioracijskih areala Srednjeg Posavlja, OVP Zagreb, Zagreb, 1983.
6. Srebrenović, D. i sur.: Utvrđivanje režima podzemnih i površinskih voda u području Lonjskog i Mokrog polja i Kupčine, VRO Zagreb, Zagreb, 1985.
7. Srebrenović, Z. i sur.: Proračun vodnih nivoe Save i aktualizacija geodetskih podloga, VRO Zagreb, Zagreb 1990.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Tatjana Mijušković-Svetinović

R 7-05

Mjerni objekt u kanalu trapeznog poprečnog presjeka

SAŽETAK: *Nalazimo se u vremenu kada se od vodoprivrednog sustava zahtijeva ne samo da vodu sprovodi, već da tu vodu neprekidno i mjeri, te da bude osposobljen za smišljeno upravljanje, zato postoji izuzetna važnost i potreba mjerenja protoke.*

U ovom radu dan je primjer mjernog objekta u otvorenom kanalu trapeznog poprečnog presjeka, za određivanje protoke mjerenjem dubine ispred suženja, i to u obliku općeg rješenja. Presjek se sužava pri dnu obrazujući donji dio u obliku trokuta, i kao takav predstavlja mjerni objekt. Rješenje je dano u obliku bezdimenzionalnih veličina, tako da je primjenjivo za svaki pojedinačni slučaj.

KLJUČNE RIJEČI: *mjerni objekt, otvoreni kanal*

Gaging Station in a Canal of Trapezoidal Cross-section

ABSTRACT: *We are living in times when the water management system is expected not only to convey water but also to measure it permanently and to be conceived for sensible management. The discharge measurement is specially important within this context.*

This paper gives an example of the gaging station in an open canal with trapezoidal cross-section, used for determination of discharge by depth measurements upstream the restriction, and conceived as a general solution. The cross-section narrows at the end and gives the bottom section a shape of triangle, making it thus a gaging station. The solution is presented by dimensionless values, so it is applicable to each individual case.

KEY WORDS: *gaging station, open canal*

1. Uvod

Mjerni objekti su hidrauličke građevine instalirane u otvorenim prirodnim ili umjetnim tokovima ili cijevima slobodnog vodnog lica. Najčešće se protok izvodi iz uzvodno mjerene razine vode. Te su građevine, u biti, umjetna redukcija površine poprečnog presjeka u kanalu ili cijevi, koja uzrokuje povećanje razine vode, stvarajući na taj način pad razine vode preko građevine. Postigne li se dovoljno snažna redukcija, dobiva se jednoznačna relacija između protoka i uzvodne razine vode. Vrlo je važno da karakteristike mjernog objekta budu takve da u svim stanjima razine vode osiguravaju jednoznačnost odnosa protoka i uzvodne razine vode, tj. da tzv. donja voda ni u jednoj situaciji ne utječe na količinu vode koja protječe preko građevine. (1)

Složeni suženi presjek kanala kao mjerni objekt, koji je tema ovog rada, predstavlja prema klasifikaciji mjernih objekata (1) kanal kritične dubine ili hidraulički kanal. Osnovna zamisao je ovdje ista kao i kod Venturi cijevi kod koje se mjeri razlika tlaka ispred i u suženju i potom izračunava vodna količina. Suprotno od ostalih tipova mjernih objekata, prednost suženja u kanalu sastoji se u tome što ne treba zgrađivati glavni presjek korita, a i visine koje uzimamo u obzir su manje. Prednost ovog mjernog objekta je i što može mjeriti veliki raspon protoka koje se pojavljuju na vodotocima.

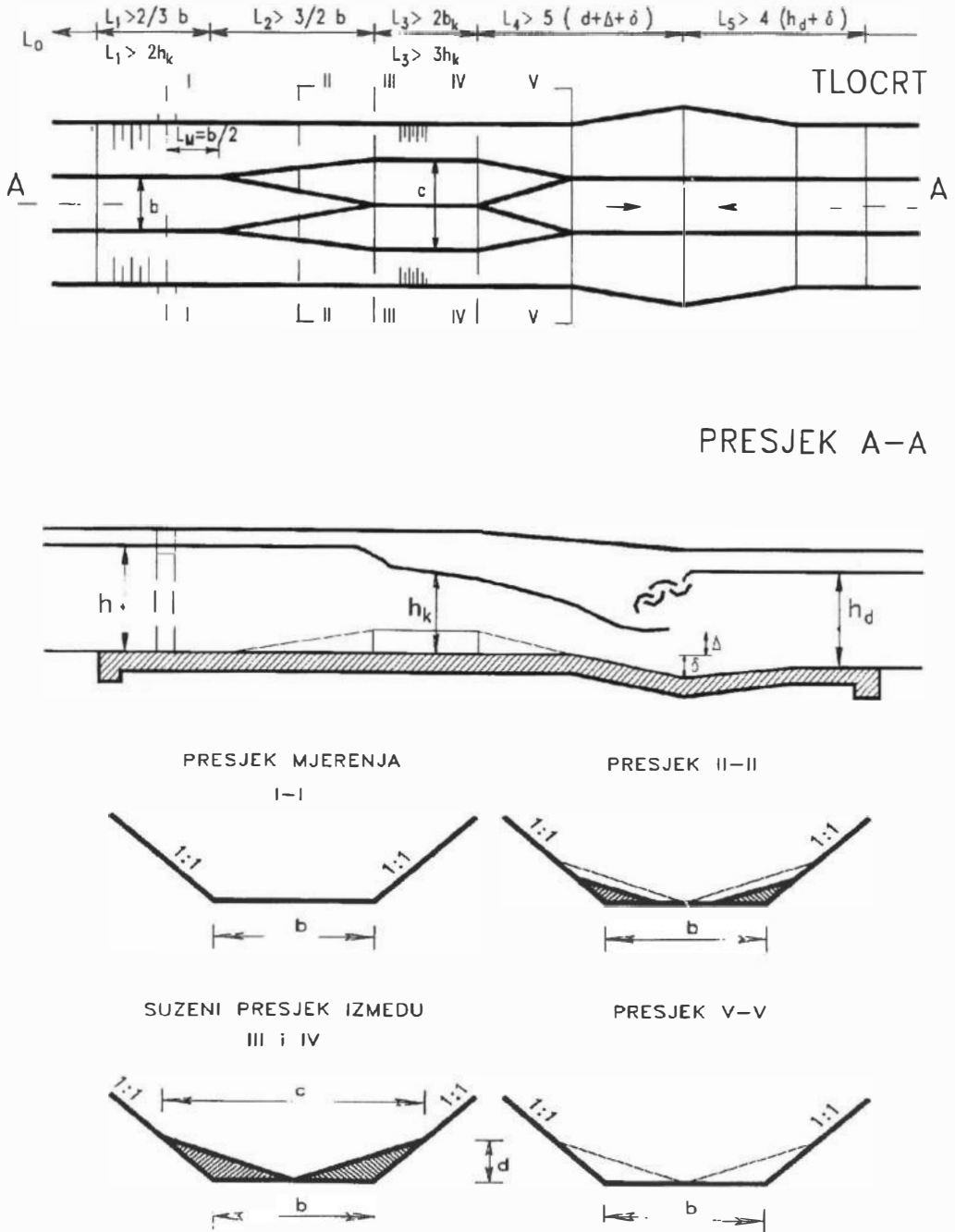
2. Složeni suženi presjek kao mjerni objekt

Mjerni objekt je mjesto sa suženim presjekom. Suženi presjek za trapezni kanal nagiba stranica 1:1 je složen od dva dijela, trokuta pri dnu i trapeza .

Uz osnovnu osobinu takvog mjernog objekta da se lako usklađuje s kanalom, njegove osobine su sljedeće (2) :

- Mjerni objekt se projektira za svaki pojedinačni slučaj prema uvjetima tog slučaja uz usklađivanje s tokom u kanalu, na taj način se može odabrati onaj suženi presjek koji na mjernom mjestu ne remeti mnogo dubine koje bi u kanalu bile da nema mjernog objekta.
- Presjek ispred suženja treba biti oblikovan u trapezni presjek, nagiba stranica 1:1. Presjek ispred objekta je presjek u kojem se mjeri dubina, a u izvjesnom uzvodnom potezu (daje se preporuka za tu dužinu $L_0 > 5b$, i $L_0 > 2h$), mora biti zadržan isti presjek uz pravolinijsku trasu tog poteza.
- Mogućnost projektiranja mjernog objekta za svaki pojedinačni kanal zahtijeva takvo oblikovanje objekta da u presjeku mjerenja i u suženom presjeku nastaje takvo strujanje da se može primijeniti Bernoulli-jeva jednačba koja će povezati navedena dva presjeka. To se postiže formiranjem pravolinijskog i paralelnog dolazećeg strujanja (što osiguravaju dužine L_0 i L_1), dovoljno dugačka sužena dionica L_3 uspostaviti će kritičnu dubinu negdje u suženju, uz približno paralelno strujanje, a dužina L_2 omogućuje postupan prijelaz. Zahtjevi za dobivanje dobrog mjernog podatka nameću potrebnu udaljenost L_M (slika 1.).
- Mjeri se samo jedna dubina toka - dubina ispred suženja. Ta dubina je jednoznačno povezana s protokom, jer se osigurava neutjecanje dubine iza suženja na uspostavljanje kritične dubine u suženju (struja u suženju je nepotopljena). Mjerni objekt se završava suženjem, ako je na raspolaganju stuba dovoljne visine da osigura nepotopljenost struje, a bez oblikovanja proširenja. Ako se postavlja zahtjev da stuba bude minimalno potrebne dubine, mora se oblikovati proširenje iza suženja. Nivo iza suženja, u proširenju se penje i treba postići da se popne što više uz što manje gubitke. To se postiže postupnim proširivanjem i to je tzv. "produženi mjerni objekt".

Postupno proširivanje iza suženja, uz postupno spuštanje dna, na dužini L_4 smanjit će potrebnu razliku nivoa koju zahtijeva nepotopljenost (slika 1.). Iza "osnovnog objekta-



Slika 1. Prikaz mjernog objekta sa složenim presjekom u suženju
 Fig. 1. Measuring object with composite narrowed profile

ta" ili u okviru "produženog objekta" može se predvidjeti udubljenje u dnu da se burno tečenje stvoreno u suženju smiri.

Hidraulički izračun, iz kojeg se dobiva veza protoka - mjerena dubina, obavlja se za idealanu tekućinu, a poslije se obavlja popravka pa se za protoku uzima:

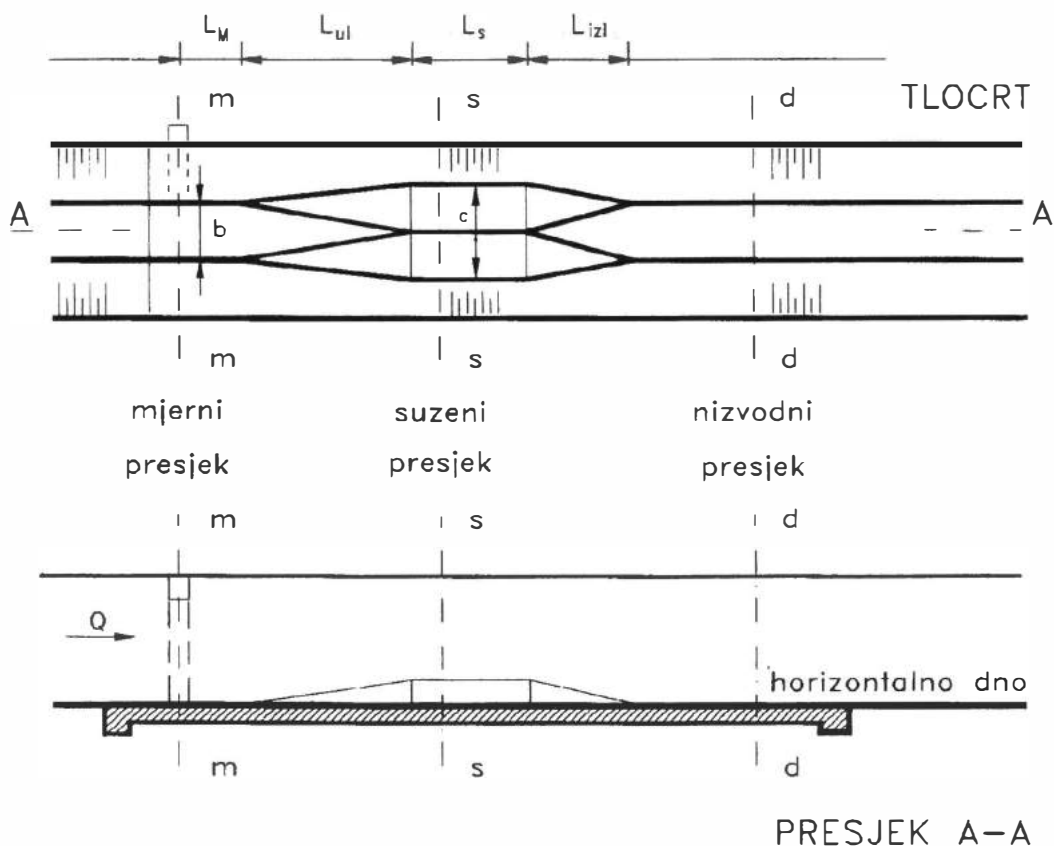
$$Q = Q_{idealno} * C_q, \text{ gdje se za } C_q \text{ može uzeti } 0.95 (2).$$

- Za postavljanje mjernog objekta neophodan je uvjet da je nadolazeća struja u mirnom tečenju, tj. da je Froudo-ov broj manji od jedinice.
- Mjerni objekt nema praga, a oblikovan je isključivo od ravnih površina.
- Mjerni objekt složenog presjeka ima osobinu da odnos između maksimalne i minimalne protoke može biti vrlo velik.

3. Opće rješenje mjernog objekta

3.1. Geometrijske karakteristike razmatranog mjernog objekta

Opće rješenje temelji se na karakteristikama mjernog objekta prema slici 2.



Slika 2. Karakteristike razmatranog mjernog objekta

Fig. 2. Constructive characteristics of the considered measuring object

Mjerni presjek je trapeznog poprečnog presjeka s nagibom stranica 1:1 (slika 1.). Sve veličine u mjernom presjeku imaju oznaku indeksa "m".

Površina poprečnog presjeka i širina vodnog lica za mjerni presjek u bezdimenzionalnom obliku su jednake:

$$\frac{B_m}{b} = 1 + 2 \frac{h_m}{b} \quad (1)$$

$$\frac{A_m}{b^2} = \frac{h_m}{b} + \left(\frac{h_m}{b} \right)^2 \quad (2)$$

Mjerni presjek trapeznog poprečnog presjeka sužava se pri dnu čineći donji dio u obliku trokuta. Opće rješenje će se dati za različite vrijednosti koeficijenta $k=d/b$, odnosno za različite nagibe stranica trokutastog dijela u suženju. Prilikom proračuna uzete su sljedeće vrijednosti za $k = 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; 1.0$. Za $k = 1.0$ poprečni presjek suženja je trokut. Sve veličine u suženom presjeku imaju oznaku indeksa "k", a za idealnu tekućinu "kid". Prilikom proračuna razlikujemo dva slučaja :

a) $h_{kid} \leq d$ i b) $h_{kid} \geq d$.

a) Proračun za $h_{kid} \leq d$, odnosno $h_{kid} \leq k b$, odnosno bezdimenzionalno $\frac{h_{kid}}{b} \leq k$.

Površina poprečnog presjeka i širina vodnog lica, za suženi presjek, u bezdimenzionalnom obliku, imaju oblik:

$$\frac{B_{kid}}{b} = \frac{2 n h_{kid}}{b} = 2 \left(1 + \frac{1}{2k} \right) \frac{h_{kid}}{b} \quad (3)$$

$$\frac{A_{kid}}{b^2} = \left(1 + \frac{1}{2k} \right) \left(\frac{h_{kid}}{b} \right)^2 \quad (4)$$

b) Proračun za $h_{kid} \geq d$, odnosno $h_{kid} \geq kb$, odnosno bezdimenzionalno $\frac{h_{kid}}{b} \geq k$.

Površina poprečnog presjeka i širina vodnog lica, za suženi presjek, u bezdimenzionalnom obliku, imaju oblik :

$$\frac{B_{kid}}{b} = 1 + 2 \frac{h_{kid}}{b} \quad (5)$$

$$\frac{A_{kid}}{b^2} = \left(\frac{h_{kid}}{b} \right)^2 + \frac{h_{kid}}{b} \frac{k}{2} \quad (6)$$

3.2. Veza između protoke i mjerene dubine

Povezivanjem stanja u presjecima ispred i u suženju Bernoulli-jeva jednadžba, uz pretpostavku idealne tekućine, u bezdimenzionalnom obliku ima oblik:

$$\frac{h_m}{b} + \frac{v_m^2}{2gb} = \frac{h_{kid}}{b} + \frac{v_{kid}^2}{2gb} \quad (7)$$

Koristeći jednadžbu kontinuiteta prethodnu jednadžbu možemo pisati:

$$h_m = h_{\text{kid}} + \frac{v_{\text{kid}}^2}{2g} \left(1 - \frac{A_{\text{kid}}^2}{A_m^2}\right) \quad (8)$$

Uspostavljanjem kritičnog presjeka ostvaruje se:

$$\frac{v_k^2}{g} = \frac{A_k}{B_k} \quad (9)$$

pa se jednadžba (8) može pisati kao:

$$h_m - h_{\text{kid}} = \frac{1}{2} \frac{A_{\text{kid}}}{B_{\text{kid}}} \left(1 - \frac{A_{\text{kid}}^2}{A_m^2}\right) \quad (10)$$

Jednadžba iskazuje ovisnost između h_{kid} i h_m . To povezuje mjerenu dubinu h_m i protoku Q_{id} idealne tekućine. Kako je $Q_{\text{id}} = A_{\text{kid}} v_{\text{kid}}$, može se pisati, uz korištenje jednadžbe kritičnog presjeka (9):

$$Q_{\text{id}} = A_{\text{kid}} \sqrt{g \frac{A_{\text{kid}}}{B_{\text{kid}}}} \quad (11)$$

Za realnu tekućinu, protoka Q je manja od protoke za idealnu tekućinu Q_{id} . Na temelju eksperimentalnih istraživanja (2) usvajamo $C_Q = \frac{Q}{Q_{\text{id}}} = 0,95$ za $h \geq 10$ cm.

Prethodna ovisnost, u bezdimenzionalnom obliku ima oblik :

$$\frac{Q}{\sqrt{gb^5}} = 0,95 \frac{Q_{\text{id}}}{\sqrt{gb^5}} \quad (12)$$

Jednoznačna veza između mjerene dubine i protoke osigurava se nepotopljenim tokom u suženju, tada teorijsko rješenje pretpostavlja kritičnu dubinu u suženju.

Jednadžba za kritični presjek $Fr = 1$, daje vezu između h_k/b i i , i dobivamo:

$$Fr = \frac{v_{\text{kid}}^2 B_{\text{kid}}}{g A_{\text{kid}}} = \frac{Q_{\text{id}}^2 B_{\text{kid}}}{g A_{\text{kid}}^3} = 1 \quad (13)$$

$$A_k = \sqrt[3]{\frac{Q^2 B_k}{g}} \quad (14)$$

3.3. Osiguranje nepotopljenosti suženog presjeka

Uvjet kojim se osigurava jednoznačna veza između protoke i mjerene dubine (bez utjecaja nizvodne dubine na stuju u suženju), prema literaturi (2) prihvaća se :

$$\Delta\Pi \geq \frac{1}{2} (h_m - h_k) \quad (15)$$

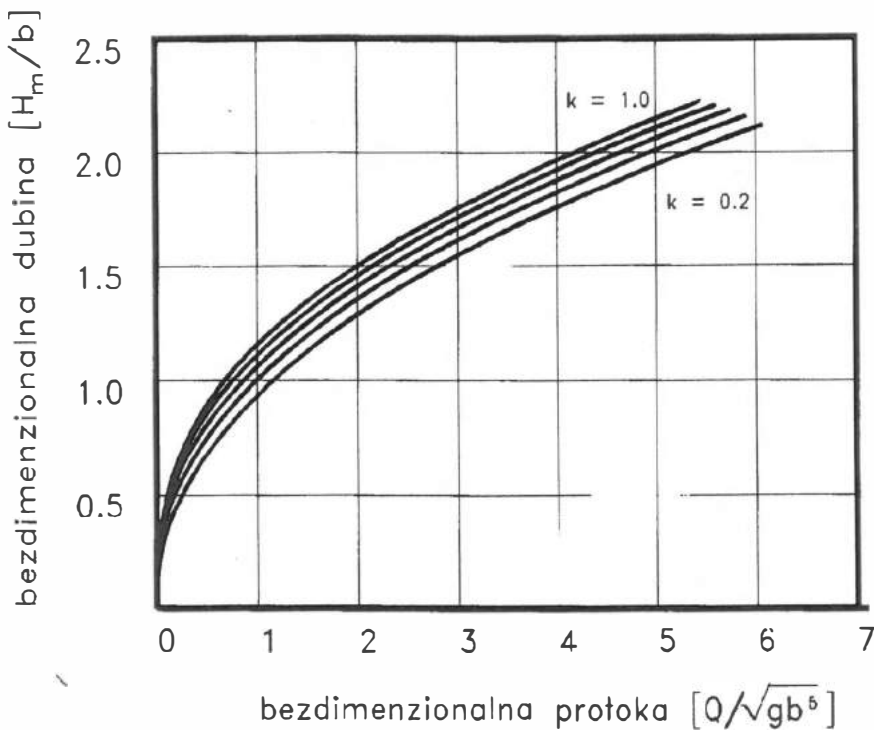
$\Delta\Pi$ je razlika nivoa ispred i iza suženja. Ovaj uvjet se može preporučiti za $A_k/A_d > 0.3$.

U bezdimenzionalnom obliku prethodna jednačba bi bila :

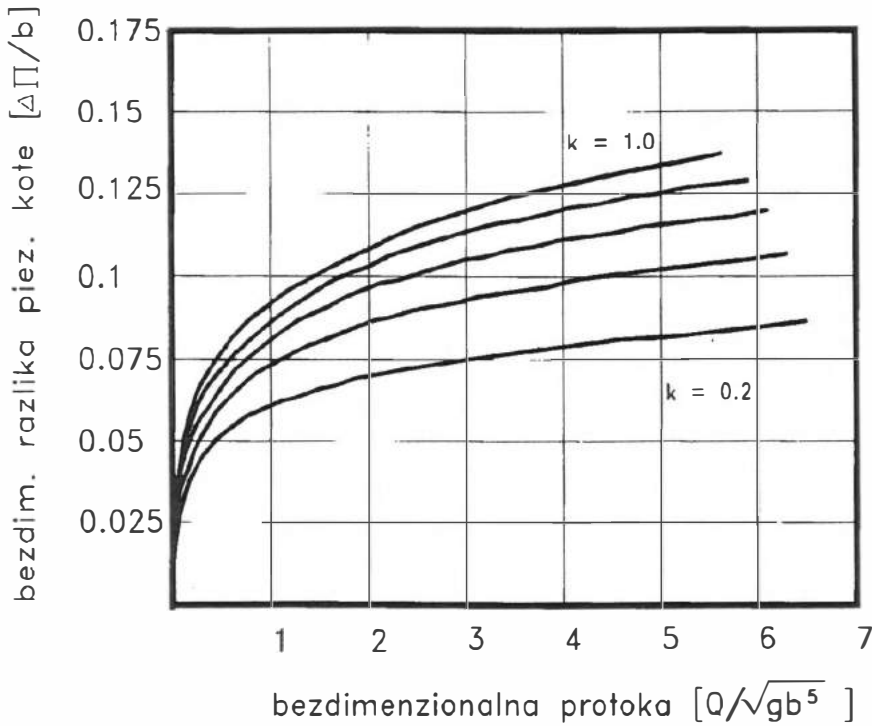
$$\frac{\Delta\Pi}{b} \geq \frac{1}{2} \left(\frac{h_m}{b} - \frac{h_k}{b} \right) \quad (16)$$

4. Rezultati izračuna

Na temelju prethodno iznijetih karakteristika i geometrije mjernog objekta, te uvjeta i jednačbi danih u točkama 3.1; 3.2; 3.3., izveden je izračun ovisnosti protoke od mjerene dubine, te minimalno potrebne razlike piezometarskih kota, nivoa ispred i iza suženja, u bezdimenzionalnom obliku, da bi bilo primjenjivo na svaki pojedinačni slučaj. Rezultati izračuna prikazani su na slikama 3 i 4.



Slika 3. Krivulja ovisnosti mjerene dubine od protoke
Figure 3. Depending curves of a measured water depth and a discharge



Slika 4. Krivulja ovisnost razlike piezometarskih visina ispred i iza suženja, od protoke
Figure 4. Depending curves of difference of the piezometric heads upstream and downstream and a discharge

5. Komentar

Rezultat ovog rada je teorijski dobiven odnos protoke i dubine u mjernom presjeku. Da bi ti rezultati bili odraz stvarnog stanja, potrebno je obaviti njihovu kalibraciju na terenu.

Također, uz današnji razvoj tehnologije i potrebe za hidrološkim informacijama, kad je riječ o mjerenju protoka, odnosno razine vode, misli se isključivo na neprekidno bilježenje tih informacija u vremenu, tako da u svakom trenutku kritičnog perioda (i ne samo njega) imamo podatke o protoci.

Literatura

1. Ognjen Bonacci: Građevine za mjerenje protoka na malim prirodnim i umjetnim vodotocima, Hrvatska vodoprivreda br. 24, str.16.-24., Zagreb, rujna 1994.
2. Građevinski fakultet univerziteta u Beogradu: Mjerni objekti za određivanje protoke u otvorenim kanalima, MEPROKS '80, Beograd, 1980.
3. Elimir Svetličić: Hidraulika otvorenih korita 2, Opće vodoprivredno poduzeće, Zagreb, 1977.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Mario Krzyk, Adolf Pemič

R 7-06

Primjena vrtložnog prigušivača u hidrotehničkim sistemima pod tlakom

SAŽETAK: *Princip rada vrtložnog prigušivača temelji se na stvaranju velikog hidrauličkog otpora, prouzrokovanog intenzivnim vrtložnim tokom u prigušivaču pri toku u jednom smjeru i znatno manjeg otpora, pri toku u suprotnom smjeru, kada je pravilnim oblikovanjem prigušivača izbjegnuto stvaranje vrtložnog toka.*

U referatu su prikazane neke hidrauličke karakteristike kružnog vrtložnog prigušivača, koje su upotrijebljene za dimenzioniranje vodostana HE Doblar II, i izvršena usporedba potrebnih dimenzija objekata za slučaj ugradnje klasičnog prigušivača i vrtložnog prigušivača.

KLJUČNE RIJEČI: *prigušivač, vrtložna dioda, vodostan, vodna komora*

Application of Vortex Diode in Pressurized Hydrotechnical Systems

ABSTRACT: *The vortex diode operation is based on generation of high hydraulic resistance, caused by the intensive vortex within a diode for a unidirectional flow, and a considerably lower resistance in the opposite direction, when the vortex is avoided by correct geometry of the diode.*

In addition to other benefits the circular vortex diode shows different throttle resistance in both flow directions without any mechanical movable part in use.

The paper describes some hydraulic characteristics of the circular vortex diode used for dimensioning of the Doblar II Hydroelectric Power Plant surge chamber. The comparison is given of required structure dimensions for classical throttle and the vortex diode in use.

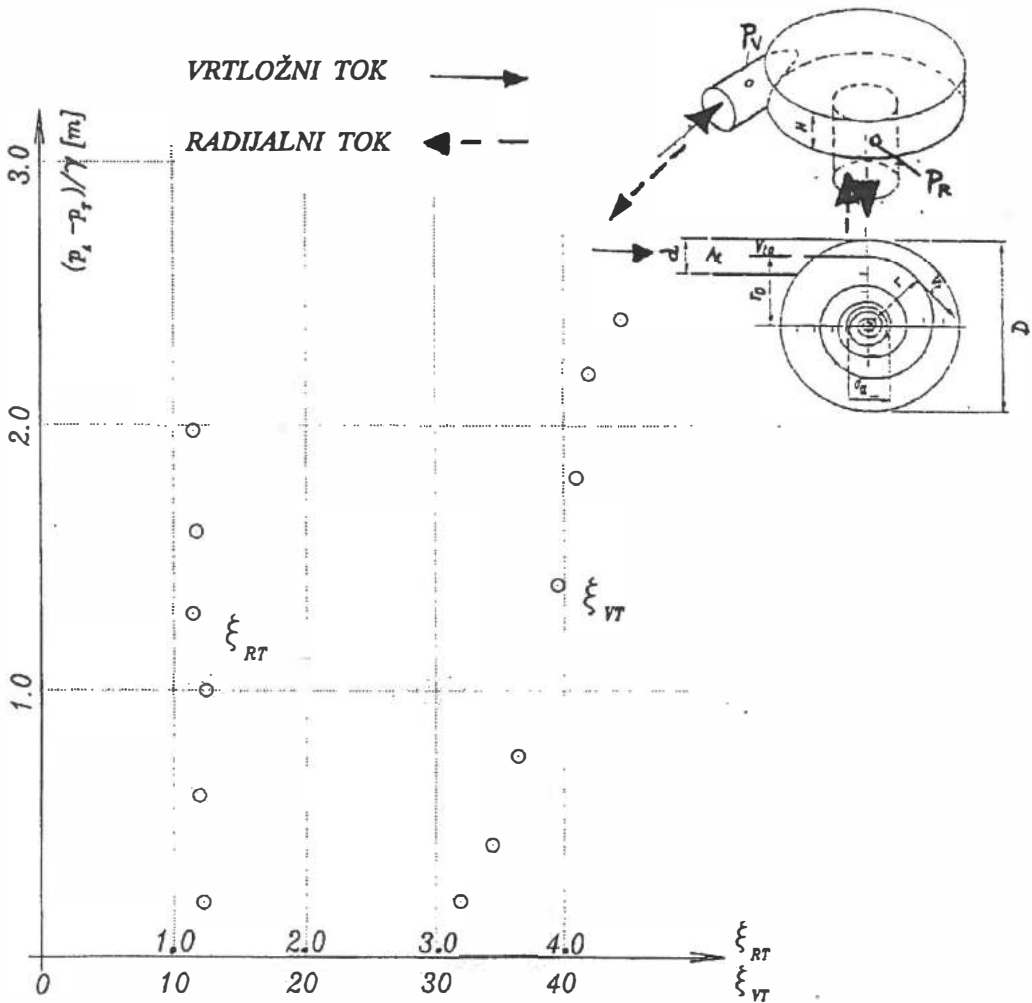
KEY WORDS: *throttle, vortex diode, surge chamber, water chamber*

1. Postavka problema

U praktičnoj primjeni, na značaju sve više dobivaju tzv. "fluidični elementi" - naprave koje rade isključivo na temelju hidromehaničkih efekata, tj. bez korištenja energije iz dodatnih (vanjskih) izvora. Princip rada fluidičnih elemenata zasniva se isključivo na sljedećim hidromehaničkim efektima /1/: a) izmjeni impulsa, b) efektu pograničnog toka (Coanda - efekat) i c) vrtložnom efektu, odnosno vrtložnom toku.

Za regulaciju velikih masenih protoka, posebno su pogodni elementi koji rade na principu vrtložnih tokova, kao što je tzv. vrtložna dioda. Kućište vrtložne diode je slično kućištu Kaplanove turbine (sl. 1). Kod tangencijalnog dotoka fluida u diodu, u njoj se formira ravninski vrtložni tok, koji u prvoj aproksimaciji odgovara ravninskom potencijalnom toku,

$$v_t r = v_{to} r_o = konst. \quad (1)$$



Slika 1., Fig. 1.

Prema obrascu (1), u blizini aksijalnog otvora u sredini diode formiraju se znatne tangencijalne brzine, a time i znatne centrifugalne sile. Ove sile izazivaju protutlak, tj. hidraulički otpor spiralnom toku. Ako fluid struji u obrnutom smjeru, tj. radijalno (od aksijalnog prema tangencijalnom otvoru), hidraulički otpori su mnogo manji.

Iz rezultata hidrauličkih modelskih ispitivanja vrtložnih dioda, vršenih u Vodnogospodarskem inštitutu u Ljubljani (slika 1, /2/), mogu se uočiti znatne razlike između

koeficijenata hidrauličkih otpora ζ_{vt} (vrtložni tok) i ζ_{rt} (radijalni tok). Kvocijent ζ_{vt} / ζ_{rt} je omjer asimetrije vrtložne diode.

Zbog svojih asimetričnih karakteristika, vrtložna dioda se može uspješno upotrijebiti za ublažavanje posljedica vodnog udara u hidrotehničkim sustavima pod tlakom, npr. u funkciji "prigušivača" ugrađenog između šahta i donje komore vodostana. Na taj način se mogu znatno smanjiti, pa čak i eliminirati oscilacije vodne mase u vodostanu i time znatno smanjiti dimenzije objekata, osobito donje komore vodostana, naročito kod naglih uzastopnih smanjenja i povećanja opterećenja turbina (npr. naglo uzastopno zatvaranje i otvaranje turbina s ciljem održanja stalne frekvencije i napona električne struje). S obzirom na asimetriju, dioda mora biti tako usmjerena da iskazuje manji hidraulički otpor pri utjecanju vode u vodostan (npr. pri zatvaranju turbina), a veći pri istjecanju iz njega (otvaranje turbina). Time se postiže adekvatna amortizacija oscilacija vodne mase u vodostanu i smanjenje brzine vodnog toka usmjerenog ka akumulaciji u tranzientnim fazama rada.

Takvo prigušenje nije moguće ostvariti klasičnim prigušivačem, jer bi pri naglom otvaranju turbina prigušenje prouzrokovalo prekomjerni porast tlaka u dovodnom rovu, dok bi se pri naglom otvaranju turbina tlak snizio ispod dozvoljene vrijednosti.

U sljedećem poglavlju prikazani su rezultati matematičke simulacije i usporedbe rada vrtložne diode i klasičnog prigušivača na primjeru vodostana.

2. Opis problema

Na dvije uzastopne hidroelektrane na rijeci Soči, HE Doblar i HE Plave, koje su po svojim karakteristikama derivacione, predviđeno je da se u narednom periodu izvede rekonstrukcija u smislu osuvremenjavanja i prilagodavanja sadašnjim potrebama. Predviđena je izgradnja novih dovodnih tunela, tlačnih cijevi i potrebnih pratećih objekata, koji bi dovodni sustav štitili od previsokog tlaka i pojave podtlaka, te, uopće, omogućili pravilno funkcioniranje hidroelektrana.

U okviru izrade projekta izvršeno je dimenzioniranje upravo tih zaštitnih objekata - vodostana, određene su njihove hidrauličke karakteristike i dimenzije eventualno potrebnih vodnih komora za različite pogonske uvjete. Osim klasičnog rješenja tog problema - vodostana sa klasičnim prigušivačem i komorama, projektantu je ponudeno i rješenje sa vrtložnim (diodnim) prigušivačem. U namjeri prikaza njegove prednosti nad klasičnim prigušivačem, ovdje će se predstaviti rezultati matematičke simulacije funkcioniranja i efekti na dimenzije objekata, prije svega donje vodne komore na derivacionom sustavu HE Doblar II. Pošto su razmišljanja o primjeni ovog prigušivača tek u začetku, a s ciljem pojednostavljenja problema i lakšeg doimanja njegovog djelovanja, cijeli sustav je geometrijski pojednostavljen. Pošto je za obavljanje potrebnih računa bilo na raspolaganju brzo računalo (PC486, 66 Mhz), a da bi se istovremeno dobili potrebni rezultati o oscilaciji tlaka i brzine u tlačnoj cijevi, u cijelom sustavu uzeta je u obzir stišljivost vode i primijenjena metoda karakteristika.

2.1. Geodetski podaci

Osnovne geometrijske karakteristike dovodnog sustava su: kota slobodne površine vode u akumulaciji je između 145 m n.m. i 153 m n.m.; ukupna dužina dovodnog sistema je 4000 m, kota ose dovodnog rova na zahvatu je na 132.5 m n.m., a ispod vodostana na 126.0 m n.m.; tlačna cijev je dužine 100 m sa osovinom na ulazu u strojarnicu na koti 100.5 m n.m.

2.2. Hidraulički podaci

Projektirani instalirani protok iznosi $Q=105 \text{ m}^3/\text{s}$. Zakoni zatvaranja i otvaranja zatvarača za regulaciju dotoka vode na turbine, odnosno promjene brzine vode na kraju tlačne cijevi, bili su zadani od strane projektanta. Ti su bili sljedeći:

- pri zatvaranju protoka, linearna promjena brzine od protoka $105 \text{ m}^3/\text{s}$ na $52.5 \text{ m}^3/\text{s}$ tijekom 6 s, i potom linearna promjena brzine do protoka $Q=0$ u sljedeće 64 s,
- pri otvaranju protoka predviđena je linearna promjena brzine tijekom 30 s, što je vrijeme potrebno da se protok promijeni od 0 na instaliranu vrijednost $105 \text{ m}^3/\text{s}$,

Gubici tlaka zbog trenja su računani po Darcy-Weissbachovoj formuli.

3. Opis matematičkoga modela

3.1. Osnovne jednadžbe i metoda rješavanja

Račun nestalnog toka u dovodnom sustava je izvršen pomoću matematičkog modela. Jednadžba kontinuiteta i dinamička jednadžba u diferencijalnom obliku rješavane su numerički metodom karakteristika. Nagib karakterističnih crta je definiran jednadžbama:

$$\frac{dx}{dt} = v + a \approx a \quad i \quad \frac{dx}{dt} = v - a \approx -a \quad (2)$$

Uzduž tih karakteristika, uz opravdano zanemarenje nagiba cijevi [3], diferencijalne jednadžbe prelaze u sljedeći oblik:

$$\frac{g}{a} \frac{dh}{dt} + \frac{dv}{dt} + \frac{\lambda v |v|}{2D} = 0 \quad (3a)$$

$$-\frac{g}{a} \frac{dh}{dt} + \frac{dv}{dt} + \frac{\lambda v |v|}{2D} = 0 \quad (3b)$$

gdje je: v - brzina vode u cijevi, h - tlačna visina nad usporednom ravninom, g - gravitacija, D - promjer cijevi, a - brzina putovanja vala u cijevi, t - vrijeme, λ - koeficijent trenja po Darcyju.

Cijela dionica dovodnog rova i tlačne cijevi je podijeljena na 500 dijelova. Vremenski korak pri računanim primjerima je iznosio 7.4×10^{-3} s.

3.2. Početni i rubni uvjeti

Za rješavanje navedenog sustava jednadžbi potrebno je poznavati početne i rubne uvjete. Početni uvjeti zavisili su o tipu analiziranog manevra, dok su rubnim uvjetima opisana događanja na krajevima cijevnih vodova.

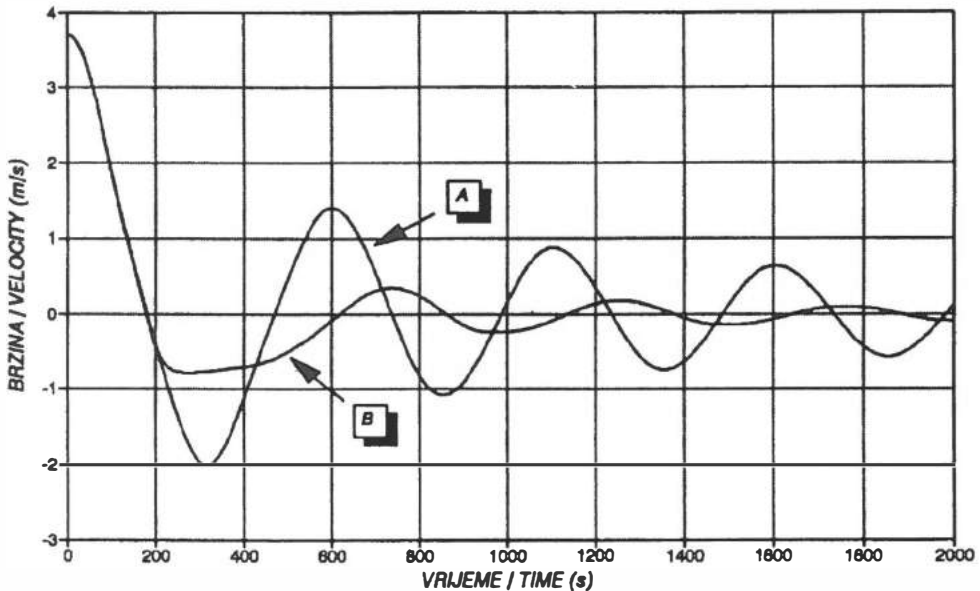
Kao poseban rubni uvjet na kraju dovodnog rova bio je vodostan. Za račun položaja slobodne površine vode u vodostanu tijekom vremena, za varijantno rješenje sa klasičnim prigušivačem, postavljen je sljedeći sustav jednadžbi:

- jednadžba kontinuiteta za vodostan,
- jednadžbi pozitivne karakteristike za smjer prema dovodnomu rovu,
- jednadžbi negativne karakteristike za smjer prema tlačnoj cijevi i
- Bernoullijeva jednadžba za točku pod vodostanom i točku koja je na slobodnoj površini vode.

Potrebne dimenzije donje vodne komore su određene na temelju provedenih računa kombiniranog manevra: nakon ispada elektrane, u kritičnom trenutku je pretpostavljeno njeno ponovno puštanje u pogon. Nakon izvršenih analiza i optimizacija utvrđene su dimenzije komore i karakteristike prigušivača.

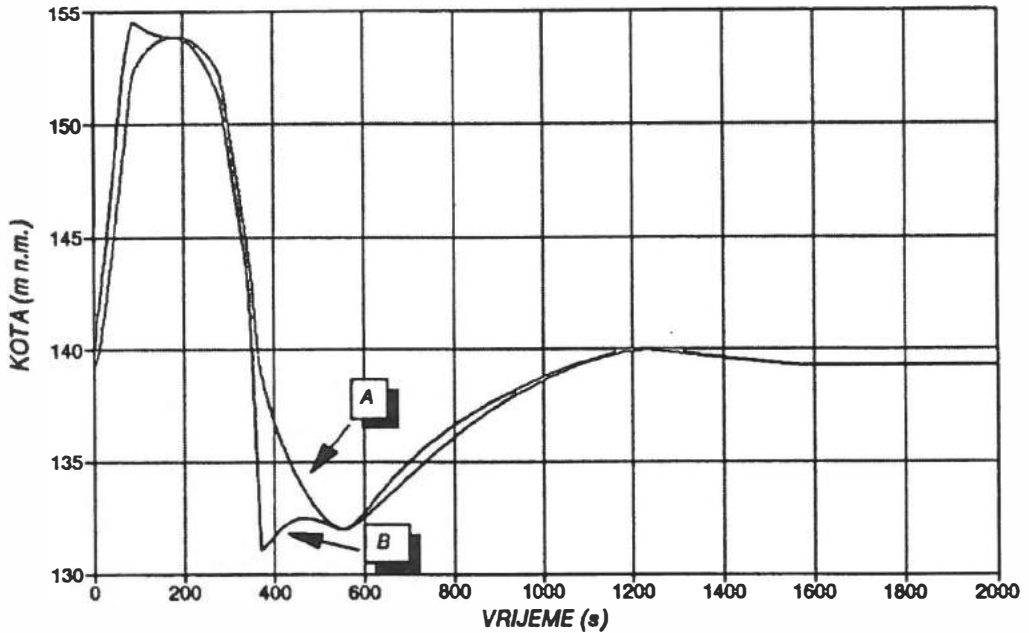
- Za rješenje sa klasičnim prigušivačem, kritično vrijeme ponovnog otvaranja je 340 s nakon ispada. Dimenzije komore su: dužina 180 m i promjer 8 m. Koeficijent otpora prigušivača pri utjcanju u vodostan je $0.0006 \text{ s}^2 / \text{m}^5$, a pri istjcanju $0.0004 \text{ s}^2 / \text{m}^5$.
- Za rješenje s vrtložnim prigušivačem, kritično vrijeme ponovnog otvaranja je 480 s nakon ispada. Dimenzije komore su: dužina 95 m i promjer 6 m. Koeficijent otpora pri utjcanju iz dovodnog rova je $0.0003 \text{ s}^2 / \text{m}^5$, a pri istjcanju u rov 50 puta veći, tj. $0.015 \text{ s}^2 / \text{m}^5$.

Za tako određene sustave na slici 3. prikazane su oscilacije brzine vode u dovodnom rovu ispod vodostana za slučaj zatvaranja protoka od instalirane vrijednosti na 0. Vidi se da je od iste početne brzine i jednakog trenda usporavanja, pri vrtložnom prigušivaču apsolutna vrijednost brzine usmjerene ka jezeru (označena kao negativna), znatno manja od one za slučaj primjene samo klasičnog prigušivača. To rezultira i potrebom za znatno manjom donjom komorom. Oscilacije tlaka ispod vodostana i nivoa vode u vodostanu za primjere ugrađenog klasičnog i vrtložnog prigušivača prikazane su na slikama 4. i 5. Pri znatno manjim dimenzijama donje vodne komore i ugrađenom vrtložnom prigušivaču, tlak i nivo vode u vodostanu za oba slučaja su u dozvoljenim granicama.



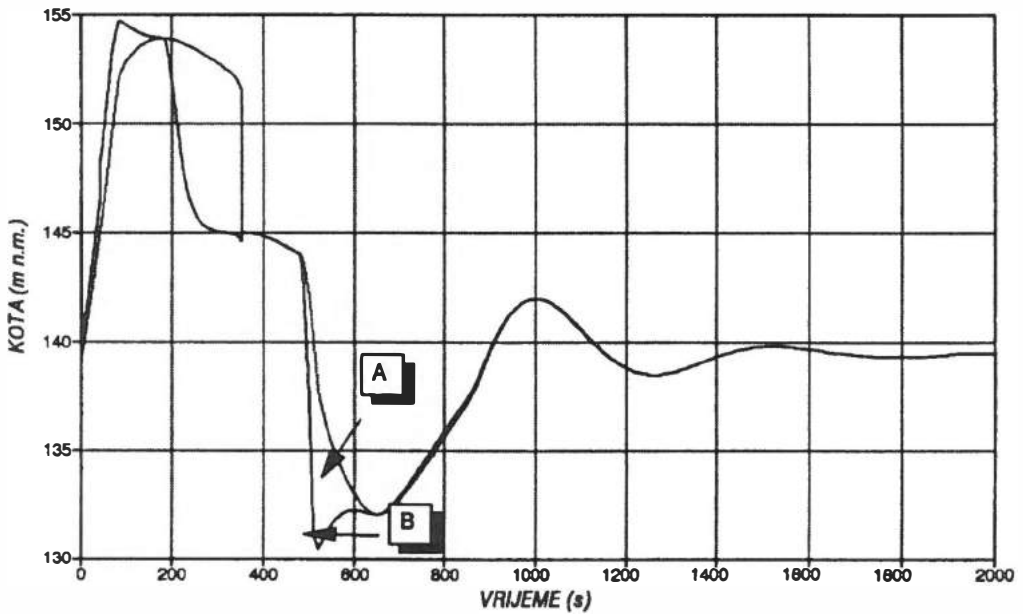
Slika 3.: Brzine u dovodnom rovu, promjena protoka od $105 \text{ m}^3 / \text{s}$ na 0
A) klasični prigušivač, B) vrtložna dioda

Fig. 3.: Velocities in Tunnel, Discharge Changed from $105 \text{ m}^3 / \text{s}$ to 0
A) Classic Damper, B) Vortex Diode



SI 4.: Klasični prigušivač; A) nivo vode u vodostanu, B) tlak u tlačnoj cijevi ispod vodostana

Fig. 4.: Classic damper; A) Water Level in Surge Tank, B) Pressure in Tunnel



SI 5.: Vrtložna dioda; A) nivo vode u vodostanu, B) tlak u tlačnoj cijevi ispod vodostana

Fig. 5.: Vortex Diode; A) Water Level in Surge Tank, B) Pressure in Tunnel

5. Zaključak

Od akumulacijskih hidroelektrana sve se više zahtijeva što bolje prilagođavanje pri automatskoj regulaciji snage, odnosno frekvencije pri pokrivanju vrhova potrošnje električne energije. Pri tome su moguće velike promjene protoka koje slijede u kratkim vremenskim intervalima (nekoliko sekundi ili minuta), i time znatno opterećuju vodostan derivacionih sustava. Za rješenje nam se nude dvije mogućnosti: konvencionalno rješenje (zbog stohastičkog njihanja vode u vodostanu, dimenzije komora, osobito donje, su vrlo velike) i drugo, suvremeno rješenje, ugradnja diodnog prigušivača nad eventualno potrebnom donjom vodnom komorom. Ona omogućuje znatno, od geometrijskih i hidrauličkih karakteristika sustava ovisno, smanjenje dimenzija donje komore.

Na primjeru dimenzioniranja vodostana sa svim pratećim objektima (komorama i prigušivačima) HE Doblar II, pokazan je efekat ugradnje vrtložnog diodnog prigušivača. Za uvjete prilagođenog sistema brzim promjenama režima rada hidroelektrane, njegova ugradnja bi pridonijela smanjenju volumena donje vodne komore za 3.4 puta, uspoređujući rješenje sa klasičnim i diodnim prigušivačem, što je jasno, i bez velike ekonomske analize, znatno povoljnije.

Literatura

1. Brombach, H. J.: "Untersuchung Strömungsmechanischer Elemente und die Möglichkeit der Anwendung von Wirbelkammerelementen im Wasserbau", Mitteilung des Instituts für Wasserbau der Univ., Stuttgart, 1972.
2. Krzyk, M., Kupusović, T.: "Mjerenja i modeliranja hidrauličkog udara u komunalnim sistemima", X savjetovanje JDHI, Sarajevo, 9.-13.10.1990, Zbornik radova, str. 326.-335.
3. Pemič, A.: "Raziskave krožnih diodnih dušilk", VGI, Ljubljana, listopad, 1992.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Matjaž Četina, Mario Krzyk

R 7-07

Primjena kombinacije 1D i 2D matematičkog modela na simulaciji toka u prirodnim vodotocima

SAŽETAK: U suvremenoj hidrotehničkoj praksi, pri rješavanju problema tečenja u otvorenim tokovima, svagdašnja je pojava upotreba 1D matematičkog modela. Za rješavanje pojedinih problema, potrebno je detaljnije obuhvaćanje utjecaja relevantnih faktora na tok vode. To je moguće primjenom 2D i 3D matematičkih modela. Rezultat primjene ovih kompliciranijih modela je detaljnija slika toka vode, položaja slobodne površine i raspored brzina. Na drugoj strani, ovi modeli su znatno kompliciraniji, skuplji i zahtijevaju tijekom rada znatno više vremena. Odgovarajućom kombinacijom 1D i 2D modela, za pojedine dionice toka, moguće je na optimalan način doći do zadovoljavajućih rezultata. Ovaj pristup rješavanju problema tečenja u prirodnim vodotocima je prikazan na primjeru toka rijeke Idrijce na dionici od ušća rijeke Bače do ušća Idrijce i Soče. 1D modelom je obuhvaćen cijeli razmatrani potez, dok je 2D modelom simuliran tok samo na dijelu gdje se očekivalo izrazito dvodimenzionalno tečenje. Izvršena je usporedba rezultata dobivenih jednim i drugim modelom sa rezultatima provedenih terenskih mjerenja nivoa vode duž toka.

KLJUČNE RIJEČI: matematičko modeliranje, dvodimenzionalni 2D model, riječna hidraulika, tok u suženju, vučeni nanos, Idrijca.

Application of Combined 1D and 2D Mathematical Models in Simulation of Flow in Natural Streamflows

ABSTRACT: The contemporary hydrotechnical practice uses 1D mathematical model for solution of open channel flow problems on a daily basis. However, some problems request more detailed elaboration of the effect the relevant factors have on water flow, which is possible if 2D and 3D models are used. The result of application of these complex models is more detailed information about the water flow, open surface position and distribution of velocities. On the other hand, these models are more complicated, more expensive and more time-consuming in use. Adequate combination of 1D and 2D models offers optimum method of reaching the satisfactory results for individual flow stretches. The subject approach to solving the flow problems in natural streamflows is illustrated by an example of the Idrijca River flow, on its section from the Bače River mouth to the mouth of the Idrijca and Soča Rivers. 1D model covers the complete considered stretch, while the 2D model simulated the flow only in the sections where an explicitly two-dimensional flow is expected. The results of the models were compared with the in situ measurements of the water level along the streamflow.

KEY WORDS: mathematical modelling, 2D model, river hydraulics, restricted flow, bed load, the Idrijca River

1. Uvod

Poznavanje hidrodinamičkih karakteristika toka sa slobodnom površinom (dubina, te intenzitet, pravac i smjer brzine), ima velik značaj u hidrotehničkoj praksi. To omogućava ispravno rješavanje određenih problema vezanih za prirodne vodotoke i projektiranje hidrotehničkih objekata. Do osnovnih saznanja je moguće doći analizom toka na fizičkom modelu ili upotrebom matematičkih modela. Zbog svoje visoke cijene i nefleksibilnosti, izgradnja fizičkih modela je svedena samo na karakteristične, većinom lokalne primjere kompleksnog toka. Razvojem računarske tehnike u hidrotehničku praksu je prodrlo brožčano modeliranje. Susreću se različiti modeli i različite metode rješavanja. U osnovi se modeli mogu podijeliti na jedno- (1D), dvo- (2D) i tro-dimenzionalne (3D), ovisno od neophodnosti sagledavanja utjecaja pojedinih komponeneta na cjelovito rješenje.

Pri rješavanju problema tečenja u prirodnim ili umjetnim koritima, uvažena inženjerska praksa je upotreba 1D matematičkih modela. Danas postoji veći broj programskih paketa, vrlo jednostavnih za upotrebu, koji zahtijevaju relativno malo ulaznih podataka i do rješenja se dolazi za kratko vrijeme. Primjena takvih modela je ograničena na jednostavnu geometriju vodotoka koja uzrokuje dominantnu brzinu toka samo u jednom pravcu. Utjecaj uzročnika koji izazivaju odstupanja od navedene pretpostavke, u računima se nastoje zahvatiti dodatnim koeficijentima. Vrijednosti koeficijenata se većinom mogu naći u literaturi, iako ih je najbolje utvrditi na temelju raspoloživih podataka dobivenih mjerenjima na terenu. Neophodno je poznavanje osnovnih geometrijskih karakteristika toka. Najčešće je to po poprečnim profilima, dovoljno gusto raspoređenim uzduž toka, u obliku parova kota - širina. Rješenja ovih modela su dubine vode i prosječne brzine po poprečnim profilima.

Ukoliko želimo detaljno simulirati kompleksnije tokove, nužno je potrebno primijeniti 2D ili čak 3D model. Ovisno o razmjeru i geometrijskim karakteristikama razmatranog područja, u većini slučajeva dovoljno je račun provesti na 2D modelu. Ovdje bi se ograničili na modele u horizontalnoj ravni s osrednjenim dubinama. Uspoređujući ih s 1D modelima, moguće je utvrditi sljedeće: a) potrebna je detaljna slika geometrije toka, s poznatim kotama dna u svakom računskom elementu, b) potrebno je poznavati raspored koeficijenata hrapavosti i , ovisno o primijenjenom turbulentnom modelu, koeficijente lokalnih gubitaka energije (npr. suženja i proširenja), c) potrebno je zadati odgovarajuće rubne uvjete na svim rubovima, d) vrijeme računanja je neusporedivo duže u odnosu na 1D model, e) rezultat je brzina i dubina toka u svakom računskom elementu.

U uvjetima kada je potrebno provesti račun toka na dužim dionicama prirodnih vodotoka vrlo neujednačene geometrije, postavlja se pitanje koji model upotrijebiti. 2D model bi zahtijevao opsežne pripreme velikog broja ulaznih podataka, a broj računskih elemenata bi zahtijevao neprihvatljivo vrijeme računanja. S druge strane, vrlo često su na ovim vodotocima posebno hidraulički zanimljive samo pojedine dionice toka. Ukoliko su poznate dubina i brzine vode na rubovima takvih dionica, moguće ih je izdvojiti i na njima provesti račun neovisno od računa ostalog toka. Pravilnim izborom ovih presjeka (uvjeti uniformnog toka), potrebne podatke je moguće preuzeti iz 1D modela. Ovaj pristup je primijenjen za račun toka rijeke Idrijce u suženju kod Bače pri Modreju. Kombiniran je 1D i 2D matematički model, na osnovi čega je realno ocijenjen odnos između linijskih i lokalnih gubitaka, te utvrđen utjecaj širenja suženog dijela korita i eventualnog produbljanja i spuštanja nizvodne kote na ušću Idrijce.

2. Prikaz problema

Na rijeci Soči je 1938. godine izgrađena brana za hidroelektranu Dobljar. Uspor na samoj rijeci Soči se osjeti do Tolmina, dok je njena lijeva pritoka, Idrijca, usporena do Bače pri Modreju. U vrijeme izrazito visokih voda između 1961. i 1965., te 1979. i 1990. i 1992. godine, došlo je do plavljenja stambenih objekata u naselju Bača pri Modreju i automobilske ceste na mostu preko desne pritoke rijeke Idrijce - Bače. O uzrocima plavljenja počelo se razmišljati već 1960. Od tada je izrađeno nekoliko studija, a u okviru jedne je bio izgrađen i fizički model od ušća Bače do ušća u rijeku Soču /1/. Rezultat ovih studija bilo je različito tumačenje uzroka plavljenja. Po mišljenju nekih autora, prekomjerno podizanje nivoa prouzročeno je suženjem u koritu, nizvodno prema Soči /2/, dok drugi smatraju da je plavljenje u zadnjih godina bilo uzrokovano podizanjem dna uslijed istaloženog nanosa na korijenu akumulacije /3, 4/. Pored dugog perioda zanimanja za ovu problematiku, sistematični hidraulički računi nisu provedeni do 1993. godine /5/. Uzrok ovome je, prije svega, manjkavost kvalitetnih podataka o kotama uzduž vodotoka tijekom visokih voda. Ti podaci dobiveni su tek na temelju snimanja provedenih poslije izlivanja rijeke Idrijce 1990. i 1992. godine.

3. Matematički modeli

3.1 1D model

1D model bazira na energetskej jednodimenzionalnoj jednadžbi, u kojoj su u obzir uzeti gubici na trenje na dnu riječnog korita i lokalni gubici (proširenje i suženje poprečnog presjeka, mostovski stubovi itd.) koji utječu na tok. Račun teče iteracijski, od najnižeg profila sa zadanom kotom i protjecajem, prema uzvodnim profilima. U okviru računarskog programa RAGLA upotrijebljena je metoda Runge-Kutta.

3.2 2D model

Upotrijebljeni 2D matematički model je u osnovi poznat, TEACH program /9/, dopunjen mogućnošću računanja po dubini osrednjenog toka u horizontalnoj ravnini /8/ i transportnim jednadžbama za κ i ε ($\kappa - \varepsilon$ model turbulencije) /6/. Radi preglednosti navedene će biti samo osnovne jednadžbe:

$$\frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial h}{\partial x} - gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - ghn^2 \frac{u\sqrt{u^2+v^2}}{h^3} + \frac{\partial}{\partial x}(h\nu_x \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(h\nu_y \frac{\partial u}{\partial y}) \quad (2)$$

$$\frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial h}{\partial y} - gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - ghn^2 \frac{v\sqrt{u^2+v^2}}{h^3} + \frac{\partial}{\partial x}(h\nu_x \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(h\nu_y \frac{\partial v}{\partial y}) \quad (3)$$

$$\frac{\partial(huk)}{\partial x} + \frac{\partial(hvk)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}(h \frac{\nu_x}{\sigma_x} \frac{\partial \kappa}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(h \frac{\nu_y}{\sigma_x} \frac{\partial \kappa}{\partial y}) + hG - c_D h\varepsilon + hP_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial(hu\varepsilon)}{\partial x} + \frac{\partial(hv\varepsilon)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}(h \frac{\nu_x}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(h \frac{\nu_y}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y}) + c_1 \frac{\varepsilon}{k} hG - c_2 \frac{\varepsilon^2}{k} h + hP_\varepsilon \quad (5)$$

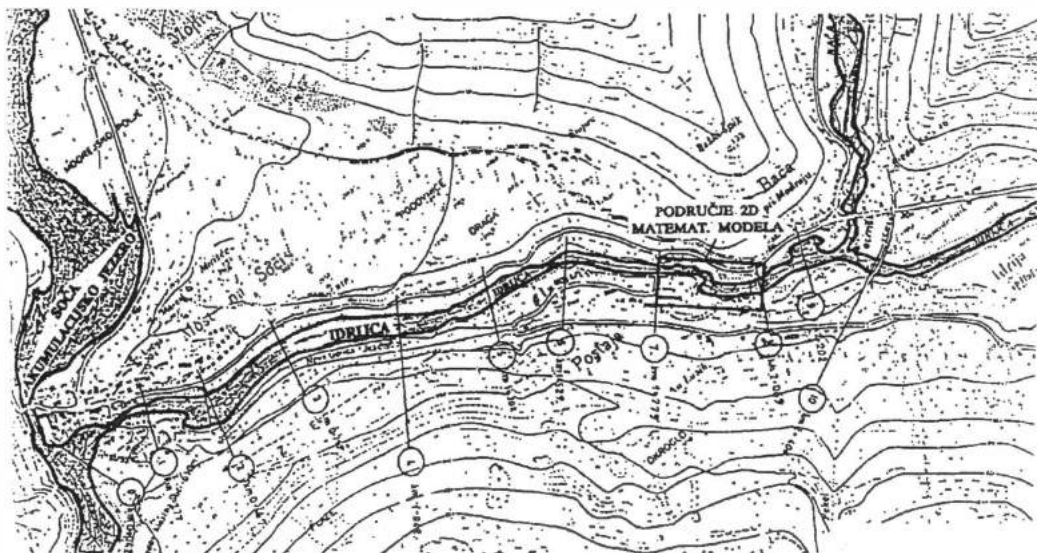
Oznake znače: h - dubina vode, u i v - komponente brzine u poprečnom (x) i uzdužnom (y) smjeru, z_b - kota dna, n - Manningov koeficijent hrapavosti, ν_{ef} - kinematički koeficijent efektivne viskoznosti, g - gravitacija, k - turbulentna kinetička energija na jedinicu mase i ε - stupanj njene disipacije. Izrazi za G (produkcija k radi horizontalnih gradijenata brzine), te P_{kv} i P_{ev} (izvorni članovi zbog trenja na dnu), su skupa sa konstantama u modelu turbulencije (c_D , c_μ , c_1 , c_2 , s_K i s_ε) izloženi u lit. /6/, dok je vrijednost $c_{\varepsilon i} = 2.0$ (prirodni kanali, /6/).

Pošto se radi o eliptičkom tipu problema, potrebno je definirati rubne uvjete na sva četiri ruba modela. Na gornjem rubu modela je zadan smjer brzine, te uvjet za dubine u obliku $\partial h' / \partial y = 0$, gdje je h' popravka dubine. Na donjem rubu je zadana kota slobodne površine vode, određena na temelju rezultata 1D modela, i uvjeti za brzine: $\partial v / \partial y = 0$ i $\partial u / \partial y = 0$. Na svim nepropusnim rubovima zadane su komponente brzine okomite na stijenku jednake nuli, dok su uzdužne komponente određene na temelju logaritamskog zakona.

Sustav nelinearnih parcijalnih diferencijalnih jednadžbi, se, uz poštivanje navedenih rubnih uvjeta, rješava brojačno, metodom kontrolnih volumena Patankar-Spaldinga /7/, koja spada u metodu konačnih razlika. Osnovne karakteristike su smaknuta brojčana mreža, hibridna shema (kombinacija centralnodiferencijalne i sheme uzvodnih razlika), te iteracijsko rješavanje na osnovi popravke dubina.

4. Kalibracija modela i rezultati

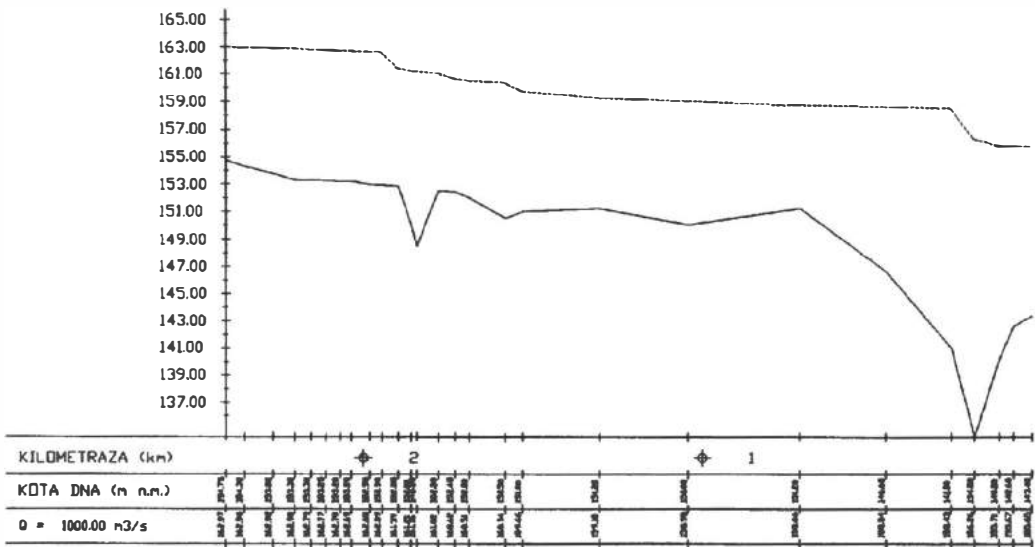
1D modelom je obraden potez od ušća Idrice do ušća Bače. Na raspolaganju su bili podaci o poprečnim profilima prikazanim na slici 1. Na donjem rubu je uz stogodišnji protjecaj zadana predviđena kota vode u akumulaciji. 2D modelom je zahvaćena samo dionica u području suženja, između profila 7 i 8, u dužini od 300 m. Prikazana je na slici 1. Zbog komplicirane geometrije suženja, za potrebe tog modela bilo je potrebno snimiti još 15 dodatnih poprečnih profila. Njihov položaj je prikazan na slici 3. Podaci o hidrauličkim karakteristikama na rubovima modela preuzeti su iz rezultata 1D modela.



Slika 1: Situacija sa označenim područjima 1D i 2D modela

Fig. 1: Schematic Layout of 1D and 2D Computational Domains

Prije provedene simulacije pojedinih radova u suženju, 1D i 2D model smo kalibrirali na osnovi izmjerenih nivoa pri visokim vodama od 1. 11. 1990. pri protoku $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$. Najbolja usklađenost mjerenih i izračunanih vrijednosti dobila se za jedinstven koeficijent hrapavosti po Manningu $n_g = 0.045$ uz odgovarajuće, logične korekcije dna izmjerenih poprečnih profila. Za razliku od 1D modela, pri 2D modelu nije bilo potrebno zadavanje dodatnih energetskih gubitaka zbog širenja i suženja poprečnih profila, jer je u model već ugrađen mehanizam produkcije i dispacije turbulენტne kinetičke energije zbog horizontalnih vrtloga i trenja na dnu. U referatu su prikazani samo karakteristični rezultati računa provedenog s ciljem određivanja vrijednosti pojedinih koeficijenata i testiranja modela. Na slici 2 je prikazan rezultat 1D računa - podužni presjek dna vodotoka sa ucrtanom



Slika 2: Podužni profil dna i kota vode pri protoku $1000 \text{ m}^3/\text{s}$

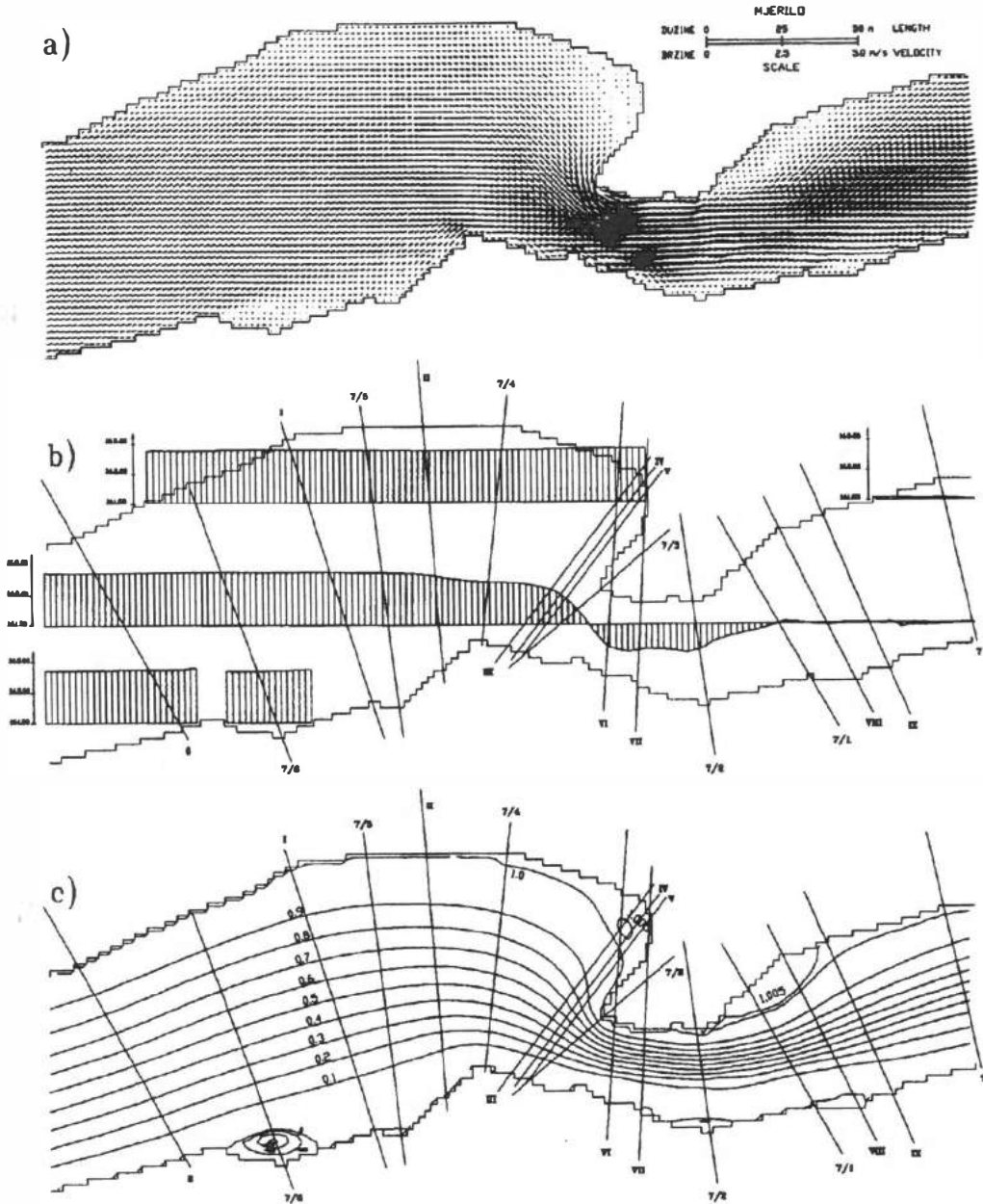
Fig. 2: Longitudinal Profiles of Bottom Level and Free Surface Elev. at Discharge $1000 \text{ m}^3/\text{s}$

izračunanom slobodnom površinom vode za protjecaj $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$. Rezultati 2D matematičkog modela - vektori brzina, te podužni profili slobodne površine vode i strujne linije, prikazani su na slici 3.

Nakon kalibracije 1D modela, izvršena je serija računa za različita stanja dna, dok je 2D modelom simuliran tok lokalno u suženju za različite zahvate usmjerene k povećanju propusne moći suženja. Tu se, prije svega misli na proširenje suženja. Do optimalnog rješenja došlo se kombinacijom produbljenja dna, uzvodno od suženja za 2 m (nizvodno od suženja se očekuje produbljene prirodnom erozijom), i proširenjem suženja, miniranjem oko 5000 m^3 stijenskog masiva. Osim toga, neophodna je izgradnja zadrživača vučenog nanosa na uzvodnom dijelu rijeke Idrijce i njenim pritokama, opterećenim većim količinama nanosa.

5. Zaključak

Na temelju izloženog može se zaključiti da bi u slučaju potrebe detaljnijih računa karakteristika toka u rijekama, bilo neophodno upotrijebiti bar dvodimenzionalni



Slika 3: Tok u suženju pri kalibracijskom protoku $1000 \text{ m}^3/\text{s}$
 a) Polje brzina, b) Uzdužni profili dubina, c) Strujnice
 Fig 3: Flow in the Narrow at Calibration Discharge $1000 \text{ m}^3/\text{s}$
 a) Velocity Field, b) Longitudinal Profiles of Free Surface Elevations, c) Streamlines

matematički model. Zbog svoje kompleksnosti, takav račun zahtijeva detaljne podatke o terenu, te s tim duga i skupa terenska mjerenja i isto tako dosta računarskog vremena.

U takvim je situacijama moguće globalni račun cijelog vodotoka provesti 1D modelom, a samo pojedine, zanimljive dijelove izrazito neuniformnog toka, simulirati na 2D modelu. Veza između jednog i drugog modela ostvaruje se zadavanjem odgovarajućih rubnih uvjeta u 2D model na osnovi rezultata iz 1D globalnog modela.

Literatura

1. Colarič, O.: Modelna raziskava sotočja Idrijce in Soče. VGI, Vodogradbeni laboratorij, Ljubljana, 1982.
2. Colarič, O.: Analiza vzrokov poplav na območju Bače pri Modreju. Ljubljana, 1991.
3. Ciuha, D.: Koncept ureditve sotočij - sotočje Idrijce in Bače. VGI, Vodogradbeni laboratorij, Ljubljana, 1992.
4. Ciuha, D.: Koncept ureditve sotočij - sotočje Idrijce in Bače. Terenske meritve in opazovanja v letu 1992 ter njihova analiza. VGI, Vodogradbeni laboratorij, Ljubljana, 1992.
5. Četina, M., Krzyk, M.: Dvodimenzionalni matematični model toka Idrijce v ožini pod železniško postajo Most na Soči. FAGG, Ljubljana, 1993.
6. Četina, M.: Uporaba «INVALID_FIELD: Object»-«INVALID_FIELD: Object» modela turbulence pri računu toka vode s prosto gladino. Kuhljevi dnevi '89, Rogla, 19. - 20. 10. 1989, Zbornik del, str. 253-262
7. Patankar, S.V.: Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. McGraw-Hill Book Company, 1980.
8. Četina, M.: Matematično modeliranje dvodimenzionalnih turbulentnih tokov. Magistrska naloga FAGG-OGG, Ljubljana, 1988.
9. Gosman, A.D, Ideriah, F.J.K.: TEACH-T: A General Computer Program for Two-dimensional, Turbulent, Recirculating Flows. Dept. of Mechanical Engineering, Imperial College, London 1976.
10. Četina, M., Krzyk, M.: Uporaba dvodimenzionalnega modela za račun toka Idrijce v ožini pod železniško postajo Most na Soči. 7. seminar Računalnik v gradbenem inženirstvu, Ljubljana, 15. april 1994., str. 278-286



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Rudi Rajar, Matjaž Četina,
Dušan Žagar, Andrej Širca

R 7-08

3D matematički model za simulaciju razlijevanja nafte u moru

SAŽETAK: U referatu je prikazan trodimenzionalni matematički model za simulaciju razlijevanja nafte u moru. Osnovni hidrodinamički i transportno-disperzijski modeli su nadograđeni modulom koji opisuje procese pri razlijevanju i širenju nafte po morskoj površini. Zasada je, tijekom računa moguće uzeti u obzir utjecaj advekcije, turbulentne difuzije, neravnomjeran raspored brzina po dubini (strižna difuzija), uzgon i isparavanje nafte odnosno naftnih derivata. Model je bio verificiran na temelju rezultata praćenja širenja nafte iz literature, te rezultatima provedenih računa pomoću matematičkog modela MIKE21-SAW. Na kraju su prikazani praktični primjeri računa širenja nafte u Tršćanskom i Koperskom zaljevu, kako prognostičkim, tako i taktičkim načinom proračuna u realnom vremenu.

KLJUČNE RIJEČI: matematičko modeliranje, trodimenzionalna hidrodinamička simulacija, praćenje čestica, razlijevanje nafte, Tršćanski zaljev.

3D Mathematical Model for Simulation of Oil Spillage into the Sea

ABSTRACT: The paper describes a 3D mathematical model for simulation of oil spillage into the sea. The basic hydrodynamical and transportation-dispersion models are upgraded with a module describing the processes developing during the oil spillage and spreading on the sea surface. So far, the calculation may take into consideration an effect of advection, turbulent diffusion, uneven distribution of velocities as per depth (shear diffusion), buoyancy and evaporation of oil, namely oil derivatives. The model was verified on the basis of the oil spreading monitoring results from the literature, and the results of the calculation using the NIKE21-SAW mathematical model. In conclusion, the practical examples are given of oil spreading in the Trieste and Koper bays which involved both prognostic and tactical method of real-time calculation.

KEY WORDS: mathematical modelling, 3D hydrodynamical simulation, particles followup, oil spillage, Trieste bay

Prof. dr. Rudi RAJAR, dipl. ing. građ., doc. dr. Matjaž ČETINA, dipl. ing. građ., mag. Andrej ŠIRCA, dipl. ing. građ., Univerza v Ljubljani, FG - Hidrotehnična smer, Ljubljana, mag. Dušan ŽAGAR, dipl. ing. građ., Cestno podjetje Celje, Celje

1. Uvod

Brzi razvoj i sve veće mogućnosti elektronskih računala omogućuju nam matematičko modeliranje sve kompliciranijih procesa. U zadnje vrijeme se, radi svoje aktualnosti, vrlo

intenzivno razvijaju tzv. ekološki modeli, koji mogu učinkovito pridonijeti zaštiti čovjekove okoline. Tipičan primjer ekološkog zagađenja je razlijevanje nafte u moru. To je problem koji je prisutan kako uz slovensku (Koparski zaljev), tako i uz hrvatsku obalu (Rijeka, Split).

Iz bliže prošlosti poznato je više slučajeva razlijevanja nafte s katastrofalnim posljedicama: iz tankera Exxon Valdez, koji se potopio ožujka 1989. u blizini obale Aljaske, izlilo se oko 35 milijuna litara nafte; u zaljevskom ratu došlo je do velikog zagađenja naftom, koja se razlila iz crpilišta uz kuvajtsku obalu. Također, 1993. godine je, prilikom dvije tankerske nesreće, došlo do razlijevanja nafte, jednom uz škotsku obalu i drugi put u Malajskom suženju, između Malezije i Sumatre.

Uz slovensku obalu primjera razlijevanja nafte s težim posljedicama, na sreću, nije bilo iako su se u Koparskom zaljevu već nekoliko puta razlile manje količine nafte. Pošto se u Koparskom zaljevu nalazi naftni terminal, na kojem se godišnje pretovari više milijuna tona naftnih derivata, a i koridor po kojem se transportira nafta do tršćanske luke, gdje je godišnja količina pretovarenih naftnih derivata oko 30 milijuna tona, vodi uz slovensku obalu, potencijalnih opasnosti za razlijevanje nafte ne nedostaje. Značajan čimbenik pri sprječavanju, odnosno smanjenju posljedica razlijevanja nafte, je mogućnost da pomoću računarske simulacije unaprijed predvidimo smjer širenja nafte i opseg naftne mrlje.

2. Opis procesa

Tijekom razlijevanja nafte dolazi do cijelog niza specifičnih fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa od kojih su neki najznačajniji shematski prikazani na sl. 1.

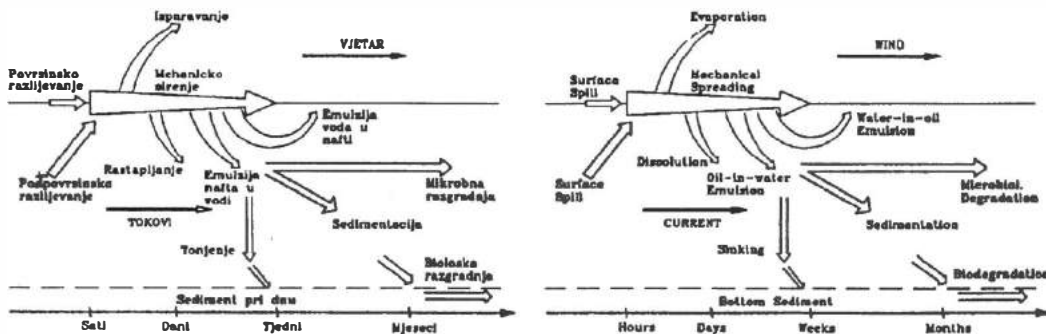
Sa stajališta modeliranja, procese možemo razdijeliti s obzirom na tri različita kriterija: a. vremensku skalu, b. mjesto događaja i c. konzervativnost polutanta.

Ad a. Podjela na vremenski bliže i udaljenije procese je relativna - za svaki konkretan primjer odredi se koji su procesi bliži. To zavisi od namjene računa, veličine zahvaćenog područja i jakosti vanjskih utjecaja (vjetar, tokovi, temperatura okoline, itd.). Ako npr. računamo veličinu i lokaciju naftne mrlje nekoliko sati po razlijevanju za potrebe ekipe za odstranjivanje nafte s vodne površine, fotooksidacija, biološka razgradnja i odlaganje na obalu su potpuno beznačajne.

Ad b. Podjela na površinske, potpovršinske i procese koji se događaju po cijeloj vodnoj masi značajna je jer se pojedini procesi, koji se događaju na istom mjestu, mogu obrađivati nedjeljeno. Primjer je isparavanje, emulzifikacija i rastapanje u vodi, koje neki autori opisuju istim jednadžbama.

Ad c. Tu mislimo na podjelu procesa na one koji znače samo transport nafte i one, koji uz to, mijenjaju karakteristike i ukupnu masu razlivena nafte (tzv. nekonzervativan polutant). Podjela je važna, jer procese koji znače samo transport nafte možemo opisati već u transportno disperzijskom modulu modela, opisanom u nastavku.

Procese bi po značaju mogli razvrstati prema sljedećem: 1. advekcija, 2. turbulentna difuzija, disperzija, uzgon i mehaničko širenje, 3. isparavanje, 4. odlaganje na obalu i ponovno ispiranje s nje, 5. rastapanje i emulzifikacija, 6. fotokemijski procesi, biološka razgradnja, tonjenje i sedimentacija. U predstavljenom modelu smo, zasada, uvažavali samo prva tri, jer su ostali, kratkoročno gledano, manje značajni.



Slika 1.: Procesi pri razlijevanju nafte
 Fig. 1.: Processes at an Oil Spill Event

3. Matematički model

Za matematičke modele, kojima simuliramo različite procese u vodnom prostoru, od, npr., širenja polutanata u jezeru ili moru, do fotosinteze ili eutrofikacije, općenito se upotrebljava izraz ekološki modeli (takođe i modeli kvaliteta). Oni mogu biti jedno-, dvo- ili trodimenzijski. U jezerima i moru je uobičajena uporaba dvo- (2D), ili još bolje, trodimenzijske (3D) simulacije, što smo i mi učinili. To je jedini način da se dovoljno točno prikažu sve pojave i procesi.

Širenje nafte i drugi procesi povezani s kvalitetom vode zavise od tri različite, međusobno povezane grupe procesa. Zato i ekološki modeli mogu biti sastavljeni od tri osnovna modula: hidrodinamičnog (HD), transpotno-disperzijskog (TD) i biokemijskog (BK).

3.1. Hidrodinamički modul

HD modulom se simulira polje brzina i utvrđi cirkulacija vode u kojoj je polutant. Pri računu advekcije je, općenito, potrebno poštovati utjecaj vjetra, plime, ušća rijeka, promjenjive gustoće i turbulentne viskoznosti. Modeli su se razvijali od vrlo jednostavnih empirijskih pristupa, (npr. da su brzine na površini vodne mase, prouzrokovane vjetrom, približno 3-4% brzine vjetra), do točnijih 2D modela, gdje su svi parametri osrednjeni po dubini (npr. /2/, /6/). Ponekad, za točan račun polja brzina nije dovoljan 2D model, što posebno vrijedi za priobalna područja i zatvorene zaljeve, gdje može topografija dna prouzročiti kompliciranije tokove, koji su u donjim slojevima vode suprotni smjeru vjetra i tokova na površini. Zato se u zadnje vrijeme sve više razvijaju 3D HD modeli (pregled je dan u /1/), koji omogućuju račun nejednakomjernog polja brzina po vertikali. Tako je moguće uzeti u obzir stržnu difuziju za određivanje širenja nafte u vertikalnom smjeru i na taj način dobiti bolje rezultate nego empiričkim jednadžbama /7/.

U predstavljenom modelu je kao HD modul upotrijebljen vlastiti i već provjereni 3D baroklini model TRIDIM /5/. Temelji se na osnovnim jednadžbama očuvanja mase, količine gibanja i transporta odgovarajućeg pasivnog skalara (u obzir su bile uzete temperatura i slanost, a mogla bi se uzeti i koncentracija različitih kemijskih i bioloških tvari, čija se masa tijekom vremena ne mijenja). U modelu na gustoću utječu temperatura, slanost i koncentracija pasivnog polutanta, preko jednadžbama stanja, a ona, preko dinamičke jednadžbe u vertikalnom smjeru, na polje brzina. Po vertikali je poštovan parabolički raspored turbulentne viskoznosti, na kojeg utječe stratifikacija

preko Richardsonovog broja. Sustav jednadžbi rješava se numerički, metodom kontrolnih volumena.

3.2. Transportno-disperzijski modul

TD modeli su namijenjeni simulaciji širenja nafte ili drugih pasivnih polutanata i obično upotrebljavaju 2D, rjeđe 3D, adveksijsko-difuzijsku jednadžbu. Najčešće se rješava metodom konačnih razlika, koja je ponekad uzročnik prevelike numeričke difuzije. Zato se u zadnje vrijeme sve više upotrebljava metoda praćenja čestica, koja se temelji na Lagrangeovskom principu praćenja pojedinih čestica, od kojih svaka sadrži određenu masu polutanta /3/. Pri simulaciji advekcije i turbulentne difuzije čestica, numerička difuzija, u klasičnom smislu, nije prisutna. U poredbi s metodom konačnih razlika, metoda ima prednosti jer su nosioci mase same čestice, kojima se lakše simulira transport, širenje i biokemijska razgradnja. Zato, većina suvremenih modela za simulaciju transporta i razgradnje nafte upotrebljava opisanu metodu /2/, /3/, /6/.

Za rješavanje zadataka metodom praćenja čestica razvijen je vlastiti 3D modul PT3D /8/. Osnova za račun transporta polutanata je prethodno deterministički izračunano polje brzina, koje je rezultat modela TRIDIM, opisanoga u prošlom odjeljku. Turbulentna difuzija je obrađena stohastički, po principu slučajnih koraka, čija je veličina ovisna o lokalnim vrijednostima koeficijenata difuzije. Uzgon je uzet u obzir tako da je srednja vrijednost slučajno izabranih komponenti brzina u vertikalnom smjeru proporcionalna razlici između gustoće vode i nafte.

3.3. Biokemijski modul

BK modulom se simuliraju fizikalni, kemijski i biološki procesi pri razgradnji nafte. Kao što je već bilo rečeno, zasada smo uzeli u obzir samo isparavanje kao najvažniji proces, radi kojeg se mijenja ukupna masa razlivena nafte. Na isparavanje utječu veličina površine i debljina naftne mrlje, karakteristike nafte i jakost vjetra. Upotrijebili smo analitički pristup /4/, gdje je parni tlak nafte opisan kao funkcija temperature okoline i osobina nafte kao smjese svih komponenti koje ju čine (gustoća, točka vrelišta itd.). Potrebna površina naftne mrlje na površini je računana tako da je naftna mrlja u osnovi razdijeljena na 16 trokuta sa dotičnom točkom u masenom središtu naftne mrlje. Potom je izračunana i zbrojena njihova površina.

4. Računarski program

4.1. Gradnja programa

Na osnovi gore opisanih principa, izrađen je računarski program SIMON (SIMulacijski MOdel Nafta). Iako program djeluje kao cjelina, to su u osnovi odvojeni HD i TD moduli, dok je BK modul uključen u TD modul PT3D. Zbog odvojenosti programa, nije moguće uzeti u obzir povratni utjecaj širenja nafte na polje brzina. Na taj način je izbjegnuto ponovni račun 3D hidrodinamike (koji je inače vrlo dug, npr. za Tršćanski zaljev do 40 sati na PC 486/66), što je važno za račune u realnom vremenu.

Programi (moduli) su napisani u programskom jeziku FORTRAN 77, dok su rezultati prilagođeni grafičkom prikazu programskim paketom AutoCAD 12. Programi teku pod DOS-om na PC računalu, preporuča se konfiguracija 486/66, s bar 8Mb brze RAM memorije.

4.2. Verifikacija

Pojedini moduli modela SIMON bili su već prije isprobani. Program TRIDIM je bio verificiran pomoću satelitskih snimaka toka u sjevernom Jadranu i mjerenja brzina u

Bohinjskom jezeru /1/, a program PT3D je bio kalibriran za pasivne polutante pomoću laboratorijskih mjerenja i mjerenja u prirodi /8/.

Verifikaciju BK modula (prije svega isparavanje nafte) izvršili smo uspoređujući rezultate s rezultatima modela MIKE21-SAW /2/ i rezultatima objavljenim u literaturi. Međusobno slaganje je bilo zadovoljavajuće /9/.

5. Aplikacija modela

Od tri moguća načina modeliranja razlijevanja nafte (prognostički, taktički i izvorni), izrađenim modelom izvedena je simulacija za Tršćanski zaljev na prva dva načina. Prognostički način znači unaprijed izvršene račune za različite moguće situacije. Podaci mogu biti pripremljeni dovoljno precizno, računi su dugotrajni, a rezultati točniji. Taktički način znači istovremeno računanje (u realnom vremenu), kad je nafta već razlivena, računi moraju biti dovoljno brzi, zadovoljavamo se manjom točnošću rezultata.

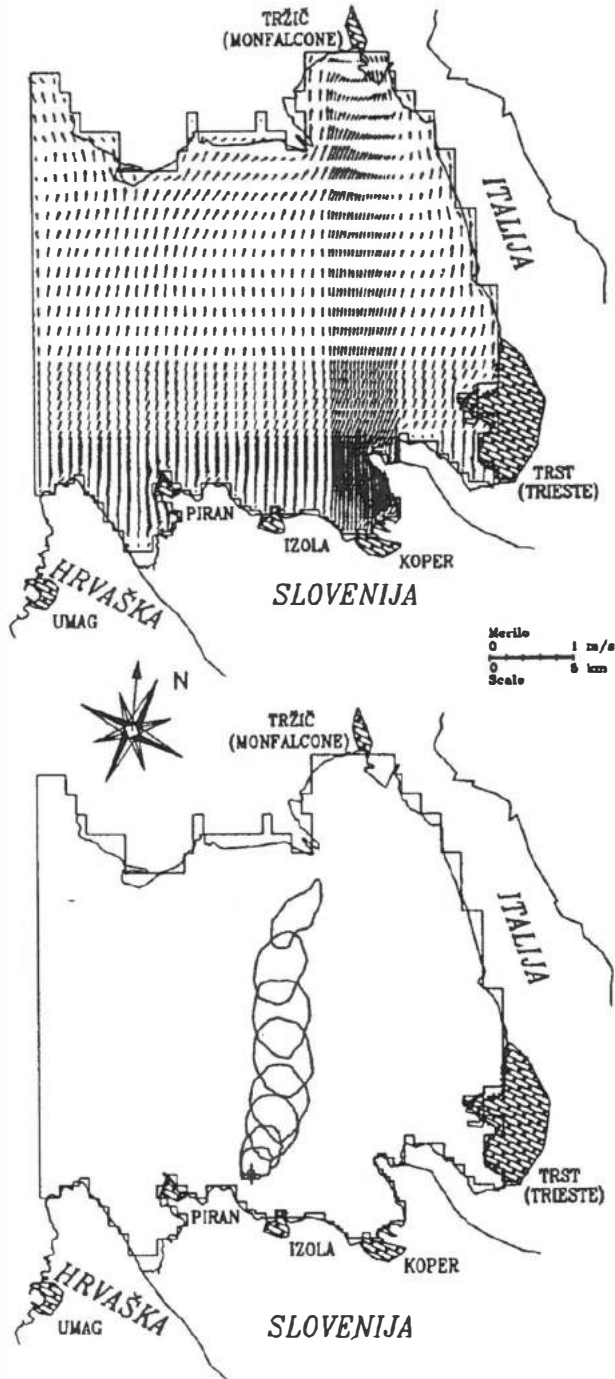
Zasada smo se ograničili samo na tokove prouzrokovane vjetrovom. Utjecaj plime i oseke smo zanemarili jer do razlijevanja nafte rijetko dolazi pri slabim vjetrovima kada plima i oseka bitno utječu na tokove. Pored toga, brzine toka prouzrokovane plimom su 4 do 8 cm/s, a vjetrovom i do 30 cm/s. U prvoj fazi zanemarili smo i utjecaj stratifikacije i uzeli u obzir ravnomjeran raspored temperature i slanosti, te s tim i gustoće po dubini. Topografija dna je opisana relativno gustom osnovnom horizontalnom numeričkom mrežom sa 59 x 52 elementa dimenzija $D_x = D_y = 600$ m, koja je u Koparskom zaljevu još progušćena ($D_x = D_y = 240$ m), a uz talijansku obalu rjeđa ($D_x = 600$ i $D_y = 1200$ m).

Područje je po vertikali razdijeljeno na 9 slojeva s međusobnim granicama na dubini 0 (površina), 0,2, 0,7, 1,5, 3, 6, 10, 15, 20 i 25 m. Na otvorenom rubu smo, s obzirom na smjer vjetra, uzeli u obzir radijacijski ili kontinuitetni rubni uvjet.

Za simulaciju na prognostički način izabrali smo karakteristične vjetrove u Tršćanskom zaljevu i to maestral jakosti 3 m/s, bura jakosti 6 m/s i 12 m/s i jugo 6 m/s. Pri simuliranju po taktičkom načinu je za stvarni smjer vjetra polje brzina interpolirano iz prethodno izračunanih polja brzina za deset karakterističnih vjetrova, koji su dio baze podataka. Postupak interpolacije je provjeren punim 3D računom i pokazao se vrlo dobrim. Interpolirane i izračunane brzine u gornjim slojevima, za koje je vezan veći dio transporta i biokemijskih procesa, odlično se slažu. Čak i u dubljim slojevima greška ne prešeže 10%. Interpolacijom polja brzina je HD račun ubrzan s reda veličine nekoliko desetina sati na red veličine minute (procesor 486 s taktom 66 Mhz).

Po prognostičkom načinu smo za "Republiško upravu za zaštitu in reševanje (RUZR)", kao konačnog korisnika simulacija, obradili 56 primjera: za već spomenuta 4 vjetra, 7 lokacija razlijevanja (na koridorima po kojima plove tankeri u tršćansku i koparsku luku i na mjestima sidrenja u Koparskom zaljevu), te 2 vrste nafte (motorni benzin MB98 i dizelsko gorivo D2). Slike 2. i 3. prikazuju polje brzina i širenje naftne mrlje u vrijeme juga jakosti 6 m/s.

U cilju izvođenja simulacija po taktičkom načinu, za primjer razlijevanja na bilo kojoj lokaciji u Tršćanskom zaljevu, model SIMON je instaliran na računalima RUZR u Ljubljani. Pored jednostavnosti uporabe vrlo koristan je i grafički prikaz rezultata u AutoCAD-u, koji omogućava daljnu obradu pojedinih slika: polja brzina, kontura naftne mrlje u izabranim vremenskim koracima, izolacija koncentracije nafte u određenom vremenu i slike rasporeda čestica u pojedinim vremenskim koracima.



Slika 2.: Simulacija širenja naftne mrlje pri razlijevanju u Tršćanskom zaljevu pri jugu (SSE) jakosti 6 m/s a) Polje brzina u površinskom sloju, b) Naftna mrlja 3, 6, 12, 18, 28, 38, 50 i 64 sata nakon razlijevanja 100 tona dizelskog goriva

Fig. 2.: Simulation of Oil Spreading for Spill in the Gulf of Trieste with a SSE Scirocco Wind of 6 m/s, a) Velocity Field at the Surface Layer, b) Oil Slicks in 3, 6, 12, 18, 28, 38, 50 and 64 Hours After the Spill of 100 Tons of Diesel Fuel

6. Zaključci

Model SIMON za simulaciju širenja razlivena nafte u moru dao je zadovoljive i upotrebljive rezultate. Zasada je primijenjen za Tršćanski zaljev, iako bi se mogao primijeniti i za druge ugrožene zaljeve duž Jadranske obale. U narednoj fazi istraživanja namjera je da se u model uključe i ostali procesi, prisutni pri razlijevanju nafte u prirodnoj okolini, prije svega odlaganje nafte na obalu i ispiranje sa nje, koje je za manje zaljeve najznačajniji, još neobrađeni proces. Pored toga potrebno je u računima uzeti u obzir i utjecaj plime i oseke, te rezidualnih tokova, koji je, prvenstveno pri slabijim vjetrovima, odlučujući. Predviđamo da bi dopunom postojeće baze izračunanih polja brzina, kao osnove za interpolaciju, osigurali još točnije rezultate.

Literatura

1. Četina, M.: Tridimenzionalni baroklini model za izračun tokov v jezerih in morju. Doktorska disertacija, FAGG, Ljubljana, 1992.
2. DHI (Danish Hydraulic Institute): MIKE21 Hydrodynamic Module and Spill Analysis Workstation. Technical Description, 1993.
3. Józsa, J.: 2D Particle Model for Predicting Depth-Integrated Pollutant and Surface Oil Slick Transport in Rivers. Proc. of the Int. Conference on Hydraulic and Environmental Engineering, University of Bradford, UK, Gower Technical, 1989, pp. 332-340
4. Mackay, D., Patterson, S., Nadeau, S.: Calculation of the Evaporation Rate of Volatile Liquids. Proc. of the National Conference on Control of Hazardous Material Spills, Louisville, Kentucky, 1980, pp. 361-368
5. Rajar, R., Četina, M.: Modelling of Tidal and Wind-Induced Currents and Dispersion in the Northern Adriatic. Acta Adriatica, Split, 1992, 32(2):785-812
6. Shen, H., Yapa, P., Wang, D., Yang, X.: A Mathematical Model for Oil Slick Transport in Rivers. Report No. 91-1, Department of Civil and Environmental Engineering, Clarkson University, Potsdam, 1991.
7. Spaulding, M.: A State-of-the-Art Review of Oil Spill Trajectory and Fate Modelling, Oil&Chemical Pollution 1988, Vol 4., pp. 39-55
8. Širca, A., Rajar, R.: Uporaba metode sledenja delcev pri modeliranju transporta polutantov. Gradbeni vestnik, Ljubljana, 1993, št. 8-9-10, letnik 42, str. 205-211
9. Žagar, D.: Matematični model za simuliranje razlitja nafte na morju in njegova aplikacija, Magistrska naloga, FAGG, Ljubljana, 1994.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Vinko Jović, Vedran Jurić

R 7-09

Prostorni model procjeđivanja sa samoizljevničkim zdencima

SAŽETAK: *Predviđenom izgradnjom hidroelektrane Novo Virje promijenio bi se prirodni režim podzemnih voda jednog dijela zaobalja. Veličina promjena predviđa se odgovarajućim numeričkim modelom u kojem se kao jedan od rubnih uvjeta pojavljuje procjeđivanje iz jezera ispod uspornih nasipa i obodnog kanala. Procjedne količine mogu se dodatno smanjiti izvedbom samoizljevničkih zdenaca uzduž trase kanala, čime se analiza rubnog uvjeta ovog tipa usložnjuje zbog izrazito prostorne naravi strujanja. Problem se rješava primjenom posebnog modela procjeđivanja koji osim standardnih konačnih elemenata koristi i singularne elemente, te na takav način efikasno rješava prostorni problem procjeđivanja. U radu su prikazane osnove modela, odabir profila i rezultati modeliranja (funkcionalne veze između dotoka u zaobalje i vodostaja na rubu modela, dotoci u obodni kanal i zdence).*

KLJUČNE RIJEČI: *podzemne vode, samoizljevnički zdenci, numerički model, konačni elementi, singularni konačni element*

3D Seepage Model with Relief Wells

ABSTRACT: *Planned construction of the Novo Virje Hydroelectric Power Plant would change a natural regime of groundwater in a part of the river valley. The extent of the change is anticipated by suitable numerical model in which one of the boundary conditions is seepage from the reservoirs downstream the embankment and drainage canal. The seepage quantity can be additionally reduced by construction of relief wells along the canal route, which makes the analysis of the boundary conditions of this type more complex due to a prominently three-dimensional nature of the flow. The problem is solved by application of a special seepage model which, in addition to the standard final elements, also uses the singular elements solving efficiently the three-dimensionality of the seepage. The paper describes the basic model features, profile selection and modelling results (functional relation between the valley inflows and the water level at the model contour, inflows into the discharge canals and the relief wells).*

KEY WORDS: *groundwater, relief wells, numerical model, final elements, singular final element*

1. Uvod

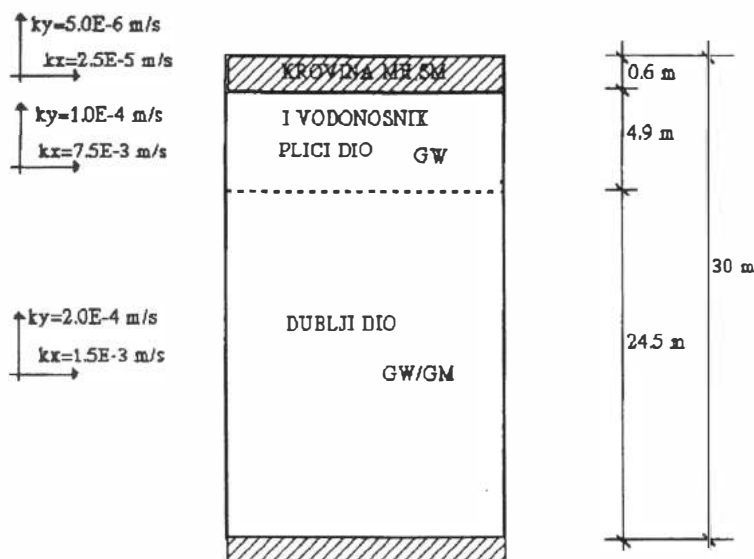
Izgradnjom akumulacije predviđene HE Novo Virje došlo bi do promjene režima podzemnih voda u zaobalju postojećeg korita rijeke Drave, tj. u području utjecaja akumulacije. Potrebno je što bolje odrediti novonastalo stanje u režimu podzemnih voda, kako bi, uz predloženi sustav zaštite zaobalja, one zadržale vodostaje u prihvatljivim granicama. Uobičajena mjera zaštite jesu obodni kanali postavljeni s vanjske strane nasipa koji prihvaćaju određenu količinu procjedne vode iz akumulacije. Preostala količina procjedne vode odlazi prema zaobalju, gdje mijenja vodostaje u odnosu na neizgrađeno stanje. Kao glavni cilj projektnog zadatka postavlja se određivanje tih količina u svrhu dimenzioniranja obodnih kanala i praćenja promjena režima u zaobalju.

Pri rješavanju ove zadaće koriste se geodetske, geotehničke i hidrogeološke podloge, kako bi definirali sve potrebne parametre koji će poslužiti kao ulazni podaci matematičkih modela. U tu svrhu potrebno je izvesti određene istražne radove. Razmatrano područje u najširem smislu obuhvaća kvartarni sedimentacijski bazen do obronaka Bilogore na jugozapadu, i do granice s Mađarskom na sjeveroistoku. Već se raspolagalo rezultatima radova koji su pokrivali lokaciju planiranog VS Đurđevac, tako da je područje uz rijeku Dravu, od botovskog mosta do sela Otočke, bilo srazmjerno dobro obrađeno. Pristupilo se stoga izvodenju osnovnih geotehničkih i hidrogeoloških radova nizvodno od sela Otočke. To su bile strukturne bušotine po trasi nasipa akumulacije i odvodnog kanala, te bunarsko polje s provedenim pokusnim crpljenjem na čvoru zahvata HE Novo Virje. Pomoću strukturnih bušotina detektirani su pojedini slojevi vodonosnika i njihov sastav, na osnovu čega je kasnije usvojen hidrogeološki model tla po pojedinim dionicama. Obradom rezultata navedenog pokusnog crpljenja, dobivene su vodopropusnosti i vrijednosti anizotropije vodopropusnosti. Ta obrada provedena je programskim paketom FILTERA-W prema metodi opisanoj u lit. (1). U nedostatku većeg opsega istražnih radova, dobiveni podaci s ovih lokaliteta su se koristili i šire, vodeći računa o sastavu, položaju i međusobnim odnosima litoloških članova, te o sličnosti s područjima na kojima su već bila provedena istraživanja.

Sintezom svih rezultata istražnih radova moguće je shematizirati tlo u hidrogeološkom smislu, i time definirati tzv. hidrogeološki model tla. Usvojeni hidrogeološki model sadrži, gledano po dubini od površine terena, najprije površinski sloj, zatim I. vodonosnik koji leži na slabije propusnim naslagama, ispod kojih se nalazi II. vodonosnik. Površinski sloj, prosječne debljine 1-2 m, čine nisko do visoko plastične gline koje prema Dravi prelaze u pjeskoviti prah i pijesak, propusnosti 10^{-4} do 10^{-8} m/s. I. vodonosnik, čija debljina varira od cca 10 m (kod Botova) do cca 30 m (kod Sigeteca i Otočke), sastavljen je od aluvijalnih naslaga pijeska i šljunka, s primjesama praha i gline, gdje je horizontalna propusnost reda veličine 10^{-3} m/s, a anizotropija se kreće u granicama od 10 do 50. Također je utvrđeno da se na potezu od čvora zahvata pa do repaškog mosta (idući uzvodno), I. vodonosnik može podijeliti na plići (debljine 5 do 8 m) i dublji dio, gdje je plići dio propusniji 3 do 4 puta od dubljeg. Slabo propusne naslage I vodonosnika čine sloj promjenjive debljine (2 do 10 m), sastavljen od pijeska, praha i gline, čineći podinu I vodonosnika. Kako se prijašnjim matematičkim modelom već pokazalo da se kroz tu podinu može očekivati neznatno procjeđivanje, to je ona uzeta kao donja granica područja obuhvaćenog modelom, i za njega predstavlja nepropusnu konturu.

2. Primijenjeni model podzemnih voda za određivanje utjecaja akumulacije HE Novo Virje

U fazi projektiranja idejnog rješenja napravljeni su 2D matematički modeli procjeđivanja iza akumulacije (tzv. lokalni modeli). Geometrija tih modela određena je poprečnim profilom akumulacije, gdje su iza nasipa postavljeni obodni kanali kao prva mjera zaštite. Na taj način se ukupne procjedne količine iz akumulacije raspodjeljuju na dio koji prikuplja obodni kanal i dio koji odlazi prema zaobalju. Pri tom je rijeka Drava uzeta kao hidraulička razdjelnica lijeve i desne strane poprečnog profila, što omogućuje njihovo odvojeno modeliranje. Ukupno je po uzdužnoj osi akumulacije, od čvora zahvata do repa akumulacije, postavljeno 11 poprečnih profila. Kriterij odabira njihovog položaja slijedio je iz zahtjeva da svaki profil predstavlja određenu dionicu po čijoj su duljini hidrogeološki i geometrijski parametri dovoljno ujednačeni da se mogu uzeti reprezentativnima za tu dionicu. Na slici 1 prikazan je usvojeni hidrogeološki model tla za profil 3 prema lijevom zaobalju.



Slika 1 - tipični hidrogeološki model tla
Figure 1 - typical hydrogeologic soil scheme

Radi određivanja utjecaja akumulacije na režim podzemnih voda u zaobalju, napravljen je globalni model, i to zasebno, lijevog i desnog zaobalja. Karakter strujne slike u zaobalju je takav da se može primijeniti Dupuitova pretpostavka o pretežito vertikalnim ekvipotencijalama, stoga se taj model skraćeno i zove Dupuitov model. Problem je obraden programskim paketom FILTRA-N, napravljenim upravu za tzv. Dupuitovo tečenje. Proračun je proveden za neizgrađeno i izgrađeno stanje, vidi lit. (4). Model zaobalja neizgrađenog stanja ograničen je s jedne strane rijekom Dravom, a s ostalih strana se granice uglavnom poklapaju s hidrogeološkom granicom vodonosnika. Na Dravi su kao prisilni rubni uvjet zadavani srednji tjedni vodostaji iz hidrološke godine 1990. i 1991., a na preostalom dijelu granice modela zadan je procijenjen dotok u vodonosnik. Za isto to razdoblje mjerene su razine vodnog lica u pijezometrima zaobalja, kako bi bilo moguće kalibrirati model. Na lijevom zaobalju raspolagalo se podacima sa 43 pijezometra, a na desnom sa 55 pijezometara, raspo-

redenih po području modela. Usklađivanjem vrijednosti dotoka u model, i vrijednosti koeficijentata filtracije i efektivne poroznosti vodonosnika, kako bi se postiglo što bolje podudaranje mjerenih i izračunatih razina na pijezometrima, došlo se do njihovih usvojenih veličina. Ovako kalibriran model, s određenim hidrogeološkim parametrima i geometrijom, postaje pogodan za pravu zadaću modeliranja, a to je varijacijom podataka koji su podložni promjenama u prirodi, doći do odziva na modelu, na čijem tumačenju temeljimo naša predviđanja. Prema tome, na osnovi toga, bilo je moguće pristupiti izgradnji globalnih modela zaobalja izgrađenog stanja. U tom slučaju se na spoju globalnog s lokalnim modelima pojavljuje prirodni rubni uvjet dotoka iz akumulacije u zaobalje. Određivanje tog rubnog uvjeta pretpostavlja riješene lokalne modele, tj. poznavanje funkcija dotoka u zaobalje iz akumulacije u ovisnosti od razine podzemnog vodostaja na spoju dvaju modela. Kako taj vodostaj nije unaprijed poznat, tj. on se dobiva tek rješenjem na globalnom modelu, proces izračunavanja takvog rubnog uvjeta je iterativan. Detaljan opis postavke i rješenja ovog problema dan je u lit. (2). Za spomenutu funkcijsku zavisnost dotoka od vodostaja na rubu zaobalja, odabire se linearna veza, jer se zbog relativno velike debljine vodonosnika na tom mjestu može zanemariti utjecaj geometrijske nelinearnosti (oblika slobodnog vodnog lica). Osim toga, svaki proračun toka podzemnih voda je daleko više opterećen greškom uzetih vodopropusnosti i anizotropije nego geometrijskim linearizacijama, stoga se ova pretpostavka u okviru točnosti rješenja problema smatra sasvim prihvatljivom.

Rezultati globalnog modela zaobalja pokazali su potrebu za uvođenjem dodatnog sustava zaštite, pošto i uz postojanje obodnih kanala, predviđeno povišenje vodostaja na nekim područjima nije bilo prihvatljivo. Dodatni sustav zaštite zaobalja u osnovi se sastoji od mreže površinske odvodnje. Međutim, ako to iz nekih razloga nije moguće sprovesti u praksi, kao mogućnost ostaje postavljanje samoizljevniha zdenaca uz obodne kanale. To je npr. bio slučaj na lijevom zaobalju, gdje se u području šume Repaš, radi očuvanja tog prostora, ne može predvidjeti površinska odvodnja. Samoizljevni zdenci prikupljaju određenu količinu vode koja struji prema zaobalju i vraćaju je u obodni kanal, smanjujući na taj način konačni dotok u zaobalje sa strane akumulacije. Pojam samoizljevni znači da se kroz njih uspostavlja protok na osnovu razlike pijezometarskog potencijala na filtru i na izljevu. Da bi se ispunio uvjet funkcionalnosti takvog zdenca, pijezometarska kota na filtru treba biti jednaka koti izljeva (uzeta kao kota vodnog lica u obodnom kanalu), uvećanoj za iznos hidrauličkih gubitaka. Procijenjeni gubici na zasipu, filtarskoj i bunarskoj konstrukciji uzeti su cca 0.5 m. Ovdje treba naglasiti da se podrazumijeva izvedba filtarskog zasipa i filtera prema pravilima koji vrijede u hidraulici zdenaca (odabir materijala zasipa prema osnovnom materijalu, otvori na filtru itd.). Da bi samoizljevni zdenci što bolje ispunili svoju ulogu, područje filtra treba postaviti ispod razdjelne strujnice za slučaj procjeđivanja kada oni ne postoje. Naime, unutar razdjelne strujnice je prilivno područje obodnog kanala, a izvan nje voda struji prema zaobalju.

Radi izrazito prostorne strujne slike u okolini zdenca, nužno je napraviti 3D model. Širina modela jednaka je međusobnom razmaku zdenaca, a zdenac je postavljen u sredinu te širine. Zdenac se predstavlja singularnim tzv. source elementom, čija se duljina i položaj poklapa s filtrom. Ovo je moguće riješiti programskim paketom FILTERA-S, koji je pojačan pretprocesorom ASSYST, grafički podržanim, čime se znatno olakšava rad pri izgradnji modela. Modeliranje se sastoji u tome da se na filtru zadaje protok, a kao odgovor se dobiva pijezometarska kota na filtru (za taj podatak odabran je potencijal u sredini filtra). Na taj način moguće je definirati vezu između protoka u zdencu i pijezometarskog potencijala na filtru. Kako je zahtijevana vrijednost tog potencijala određena opisanim uvjetom funkcionalnosti zdenca, to se za taj

slučaj, pomoću dobivene veze protoka i tlaka na filtru, može odrediti protok u zdencu. Dakle, kao rezultat ovakvog modela dobiva se, pri danim uvjetima, protok u zdencu. Pri tom nam modeliranje omogućava variranje razmaka zdenaca (širine modela) radi definiranja veze između tog razmaka i protoka u zdencima. Poznavanje te veze omogućava bolje sagledavanje utjecaja zdenaca na smanjenje dotoka u zaobalje, a služi i kao podloga za daljnje ekonomske analize. Također je moguće varirati duljinu filtra na zdencu, pri čemu većim duljinama pripada veći protok zdenca (veća efikasnost), ali i veća cijena izvedbe. Ti podaci će nam pomoći u konačnoj odluci o položaju i duljini filtra.

3. Modeliranje rubnog uvjeta sa samoizljevnom zdencima

3.1. Postavke prostornog modela procjeđivanja

Temeljem valjanosti poopćenog Darcyjevog zakona i zakona održanja mase, prostorno strujanje podzemne vode u zasićenom nehomogenom i anizotropnom tlu opisano je jednadžbom:

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) + f + Q \Delta_x \Delta_t \quad (1)$$

gdje je h pijezometarska visina, μ koeficijent elastičnog kapaciteta uskladištenja, K_{ij} tenzor vodopropusnosti (koeficijenti filtracije), f raspodijeljena proizvodnja, Q izdašnost koncentriranih singulariteta (točkasti ili raspodijeljeni izvori/ponori - zdenci) u točki x i u vremenu t , određenoj Diracovim funkcijama Δ_x i Δ_t . Jednadžba (1) se rješava za zadane početne i rubne uvjete. Od mogućih rubnih uvjeta treba spomenuti prisilne u obliku zadane pijezometarske visine, prirodne u obliku zadane ovisnosti rubnog protoka o pijezometarskoj visini, te rubne uvjete na vodnom licu. Jednadžba uključuje prostorni i vremenski položaj singularnih izvora/ponora, zbog čega rješenje nije moguće tražiti standardnom integracijom uz pomoć konačnih elemenata, već je potrebno primijeniti poseban postupak. Poseban postupak se sastoji od prikaza tražene funkcije h u obliku:

$$h(x,t) = h'(x,t) + S(x,t) \quad (2)$$

gdje je h' traženo rješenje koje će se aproksimirati metodom konačnih elemenata, a S je singularno rješenje jednadžbe:

$$\mu \frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_{ij}^* \frac{\partial S}{\partial x_j} \right) + Q \Delta_x \Delta_t \quad (3)$$

u kojoj je K_{ij}^* vrijednost tenzora vodopropusnosti na mjestu singulariteta. Uvođenjem (2) u (1), te primjenom Gauss-Green-Ostrogradski poučka, dobije se nejak formula, u obliku:

$$\int_V \mu \frac{\partial h'}{\partial t} dV + \int_V K_{ij} \frac{\partial h'}{\partial x_j} \frac{\partial u}{\partial x_i} dV - \int_A u v_i n_i dA - \int_V u f dV =$$

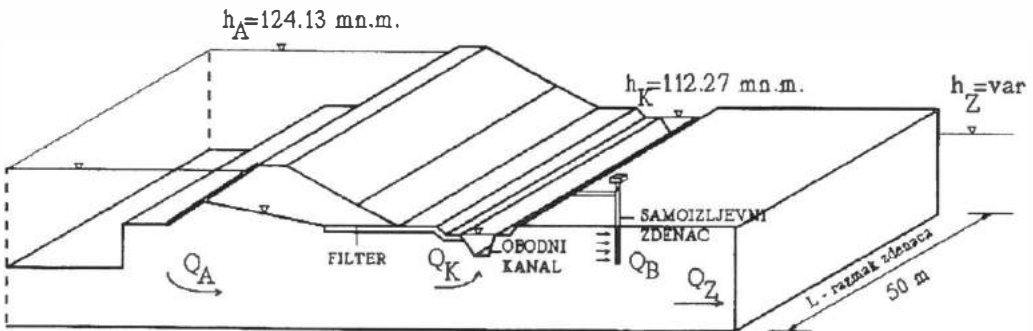
$$- \int_V u \mu \frac{\partial S}{\partial t} dV - \int_V K_{ij} \frac{\partial S}{\partial x_j} \frac{\partial u}{\partial x_i} dV + \int_V u Q \Delta_x \Delta_t dV \quad (4)$$

koja se rješava tehnikom konačnih elemenata za funkciju h' . Dakako, rubni i početni uvjeti također podliježu transformaciji (2).

Na osnovi izloženog postupka izrađeno je programsko rješenje, tj. numerički model FILTRA-S, koji omogućuje rješavanje prostornih problema nestacionarne filtracije i u slučajevima većeg broja singularnih elemenata, u ovom slučaju samoizljevni zdenaca. Ovim rješenjem postiže se velika točnost uz razmjerno rijetku diskretizaciju prostora.

3.2. Rezultati modeliranja

U opisanom projektnom zadatku određivanja utjecaja akumulacije HE Novo Virje na režim podzemnih voda, za modeliranje samoizljevni zdenaca odabrani su poprečni profili 3, 4, i 5. Naime, na tom području, prema rezultatima modela bez zdenaca, došlo bi do neprihvatljivo visokog vodostaja podzemne vode u odnosu na kotu terena. Zahtijevana razina podzemne vode ovisi o namjeni površina (poljoprivreda, šume, urbani prostor, i dr.), tako da ona može poprimiti različite vrijednosti, već prema kriteriju koji se koristi. Na lijevom zaobalju, uz profile 3, 4, i 5 nalazi se Šuma Repaš, tako da samoizljevni zdenaci na tom području povoljno djeluju u smislu sniženja podzemnih vodostaja. Slika 2 je prikaz tipičnog područja modela sa samoizljevni zdenacima. Za profil 3, takvo područje je diskretizirano 20-čvornim 3D područnim elementima, čime se dobiva 85 elemenata sa 745 čvorova. Zdenac je predstavljen source elementom.

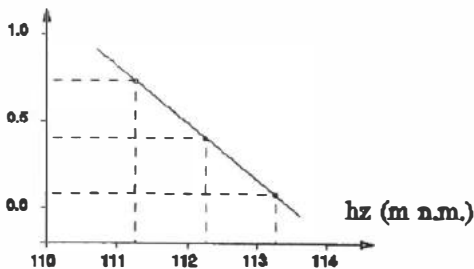


Slika 2 - područje modela sa samoizljevni zdencom

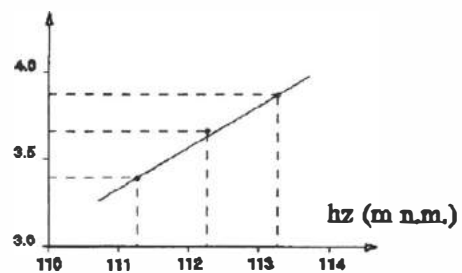
Figure 2 - modeling region with relief well

$$h_k = 112.27 \text{ m}$$

q_z (l/s/m)



q_k (l/s/m)



Slika 3 - funkcije dotoka u zaobalje i obodni kanal

Figure 3 - river basin and lateral canal inflow functions

Postupkom modeliranja opisanim pod točkom 2. dobivaju se funkcije dotoka u zaobalje (q_z) i obodni kanal (q_k), ovisno od kote podzemnog vodostaja na rubu modela (h_z), slika 3. Pri tom je protok u zdencu bio oko 40 l/s. Količina na ukupnoj duljini dionica profila 3, 4, i 5 koju prihvaćaju zdenci je reda veličine 4.5 m³/s, što na tom potezu smanjuje dotok u zaobalje iz akumulacije za oko 1.3 m³/s.

4. Zaključci

Projektiranje dodatnog zaštitnog sustava zaobalja od procjednih količina akumulacije neke HE u vidu samoizljevnih zdenaca uz obodni kanal, ne predstavlja lak zadatak. Korektan pristup podrazumijeva uzimanje u obzir prostorne slike strujanja oko zdenaca, što iziskuje izradu 3D numeričkih modela. Uz to, pojavljuje se problem tretmana samog zdenca kao singularnog prostornog elementa. Ovo je riješeno u okviru paketa FILTRA-S, uvođenjem tzv. source elementa, koji se nalazi unutar jednog područnog elementa, bez potrebe za dodatnim progušćenjem mreže područnih elemenata u okolini zdenca.

Ilustracija primjene ove metode dana je na konkretnom zadatku zaštite zaobalja buduće HE Novo Virje, čime ona dobiva praktičan značaj. Kad je model jednom napravljen, omogućuje uz male preinake parametarsku analizu. Tako možemo varirati razmak zdenaca, položaj i duljinu njihovih filtera i razmjerno brzo dobivati nove odzive. Kao rezultat proračuna dobivamo kapacitet zdenaca, uz uvjet njihove funkcionalnosti (da postoji dovoljna razlika tlakova između filtra i izljeva). Također se dobivaju funkcije dotoka u obodni kanal i zaobalje, ovisno od vodostaja na rubu modela, čime je riješen rubni uvjet na spoju dvaju modela.

Literatura

- (1) Jović, V., Borović D., Pletikapić, Z. *Ispitivanje vodopropusnosti i anizotropije vodopropusnosti u aluvijalnim dolinama*, X. Savjetovanje jugoslavenskog društva za hidraulička istraživanja, Sarajevo, 1990.
- (2) Franković, B., Jović, V., Marasović, M., Pletikapić, Z. *Doprinos rješavanju problema zaštite zaobalja uz akumulaciju*, X. Savjetovanje jugoslavenskog društva za hidraulička istraživanja, Sarajevo, 1990.
- (3) Jović, V. *Uvod u inženjersko numeričko modeliranje*. Aquarius Engineering d.o.o., Split, 1993.
- (4) HE Novo Virje *Matematički modeli podzemnih voda*. Elektroprojekt, 1993.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Zvonimir Vukelić

R 7-10

Ocjena unosa lebdećeg nanosa u akumulaciju

SAŽETAK: Pri proučavanju pronosa lebdećeg nanosa u jednom slivu i definiranju količine koja se unosi u jednu akumulaciju, pronos nanosa može se promatrati kao višечimbenični proces pri kome se javlja potreba ustanovljenja linearne korelacijske ovisnosti između nekoliko promjenjivih. Ovakva potreba može se pojaviti pri konstrukciji računalnih i prognostičkih shema pronosa nanosa vodotokom i unosa u akumulaciju. Zadaća se može postaviti tako da se traži neka promjenjiva (y) u ovisnosti o proizvoljnom broju argumenata (x), gdje (y), primjerice, može biti pronos nanosa glavnim vodotokom ili ukupna količina unešenog nanosa u akumulaciju, a (x) pronosi nanosa u pritocima.

KLJUČNE RIJEČI: *akumulacija, hidrološka varijabla, korelacija, lebdeći nanos, optimizacija, pronos nanosa, sliv*

Evaluation of Suspended Load Entrainment into Reservoir

ABSTRACT: When analyzing the suspended load transport within a catchment and defining of quantity entrained into a reservoir, the load may be analyzed as a multi-factor process which requests determination of a linear correlation of several variables. Such requirement may arise in constructing of computer and prognostic diagrams of suspended load transportation along the streamflow and its entrainment into the reservoir. The problem may be defined so as to look for a variable (y) dependant on a random number of arguments (x), where (y), for example, may be the suspended load transportation in the main stream or total quantity of suspended load entrained into the reservoir, while (x) is the load transportation in the tributaries.

KEY WORDS: *reservoir, hydrological variable, correlation, suspended load, optimization, suspended load transportation, catchment*

1. Uvod

Pri ustanovljenju linearne korelacijske ovisnosti između nekoliko hidroloških varijabli i korištenju sustava višestruke linearne korelacije polazi se od metode linearne korelacije za dvije varijable primijenjene na slučaj ovisnosti varijable (y) o proizvoljnom broju argumenata (x). Temelj za postavljanje takve ovisnosti služe podaci motrenja veličine (y) i primjerenih veličina (x_1, x_2, \dots, x_n). Rezultate međusobnih mjerenja tih veličina moguće je najčešće predočiti u sljedećem vidu:

$$\begin{array}{l} y_1, \quad x_{11}, x_{21}, x_{31}, \dots, x_{j1}, \dots, x_{n1} \\ \vdots \\ y_i, \quad x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, \dots, x_{ji}, \dots, x_{ni} \\ \vdots \\ y_m, \quad x_{1m}, x_{2m}, x_{3m}, \dots, x_{jm}, \dots, x_{nm} \end{array}$$

U takvom slučaju jednadžba višestruke linearne regresije može se napisati u sljedećem vidu:

$$\begin{aligned} y = \bar{y} + k_1(x_{1i} - \bar{x}_1) + k_2(x_{2i} - \bar{x}_2) + \dots + \\ + k_j(x_{ji} - \bar{x}_j) + \dots + k_n(x_{ni} - \bar{x}_n) \dots \end{aligned} \quad (1.1)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, m, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$

gdje su (\bar{y}) i (\bar{x}_j) srednje aritmetičke vrijednosti, a (k_j) koeficijent regresije.

Takvih jednadžbi bit će (m) u svezi s brojem motrenih veličina ($y, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$). Pri tome (m) treba biti puno veće od (n), jer ako je (m) manje od (n) zadaća je nerješiva, a pri ($m = n$) dobiva se rješenje koje imade smisla samo za funkcijske veze.

Za najbolje rješenje sustava jednadžbi treba prihvatiti ono pri kom zbroj kvadrata svih odstupanja imade najmanju vrijednost (metoda najmanjih kvadrata).

Koeficijent regresije u korelacijskoj jednadžbi dvije varijable jednak je:

$$k_{xy} = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \cdot r_{xy} \quad (1.2)$$

U jednadžbama višestruke regresije koeficijent korelacije (r_{xy}) između dvije varijable (x) i (y) zamjenjuje se kombinacijom tih koeficijenata, tako da u slučaju tri varijable (y), (x_1) i (x_2) može biti napisana sljedeća jednadžba:

$$y = \bar{y} + \frac{\sigma_y}{\sigma_{x_1}} \frac{r_{yx_1} - r_{yx_2} r_{x_1x_2}}{1 - r_{x_1x_2}^2} (x_1 - \bar{x}_1) + \frac{\sigma_y}{\sigma_{x_2}} \frac{r_{yx_2} - r_{yx_1} r_{x_1x_2}}{1 - r_{x_1x_2}^2} (x_2 - \bar{x}_2) \quad (1.3)$$

Za slučaj četiri i više varijabli dobivaju se jednačbe vrlo dugačke i neprikladne za rad. Sustav takvih jednačbi može biti bitno pojednostavljen na opći slučaj varijabli korištenjem determinanti. Tada opći izraz za koeficijent regresije (k_j) može biti zapisan u sljedećem obliku:

$$k_j = \frac{\sigma_y}{\sigma_{x_j}} \frac{D_{yx_j}}{D_{yy}} \quad (1.4)$$

gdje je (σ_y) srednje kvadratno odstupanje ovisne varijable, (σ_{x_j}) srednje kvadratno odstupanje neovisne varijable, (D_{yy}) i (D_{yx_j}) minori determinante (D):

$$D = \begin{vmatrix} 1 & r_{yx_1} & r_{yx_2} & \dots & r_{yx_j} & \dots & r_{yx_n} \\ r_{x_1y} & 1 & r_{x_1x_2} & \dots & r_{x_1x_j} & \dots & r_{x_1x_n} \\ r_{x_2y} & r_{x_2x_1} & 1 & \dots & r_{x_2x_j} & \dots & r_{x_2x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{x_jy} & r_{x_jx_1} & r_{x_jx_2} & \dots & 1 & \dots & r_{x_jx_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{x_ny} & r_{x_nx_1} & r_{x_nx_2} & \dots & r_{x_nx_j} & \dots & 1 \end{vmatrix} \quad (1.5)$$

Načelo tvorbe minora (D_{yx_j}) i (D_{yy}) je sljedeće:

$$D = \begin{vmatrix} 1 & r_{yx} & r_{yx} \\ r_{yx} & 1 & r_{xx} \\ r_{yx} & r_{xx} & 1 \end{vmatrix} \quad (1.6)$$

$$D_{yx_1} = \begin{vmatrix} r_{yx_1} & r_{x_1x_2} \\ r_{yx_2} & 1 \end{vmatrix} = r_{yx_1} - r_{yx_2} r_{x_1x_2} \quad (1.7)$$

$$D_{yx_2} = \begin{vmatrix} r_{yx_1} & 1 \\ r_{yx_2} & r_{x_1x_2} \end{vmatrix} = (r_{yx_1} r_{x_1x_2} - r_{yx_2}) \quad (1.8)$$

$$D_{yy} = \begin{vmatrix} 1 & r_{x_1x_2} \\ r_{x_1x_2} & 1 \end{vmatrix} = 1 - r_{x_1x_2}^2 \quad (1.9)$$

Kao elementi determinanata pojavljuju se koeficijenti parne korelacije između promatranih varijabli koji se određuju sljedećom jednačbom:

$$r_{jk} = \frac{\sum_1^m (x_j - \bar{x}_j)(x_k - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_1^m (x_j - \bar{x}_j)^2 \sum_1^m (x_k - \bar{x}_k)^2}} \quad (1.10)$$

Puni koeficijent korelacije između ovisne varijable i svih neovisnih varijabli određuje se izrazom:

$$R = \sqrt{1 - \frac{D}{D_{yy}}} \quad (1.11)$$

Ako se parni koeficijenti korelacije koji karakteriziraju stupanj linearne veze između dvije varijable mijenjaju u granicama od (-1) do (1) , tada puni koeficijent korelacije varira od (0) do (1) . Linearna ovisnost između dvije varijable ne postoji ako je $(r = 0 \text{ i } R = 0)$ između (n) varijabli, a ovisnost je funkcijska između varijabli ako je $(r = \pm 1 \text{ i } R = 1)$.

2. Primjena višestruke linearne korelacije na pronos lebdećeg nanosa

Praktična primjena višestruke korelacije na pronos lebdećeg nanosa svodi se na uspostavljanje veze između pronosa nanosa u rijeci (y) sa pronosima nanosa u pritocima.

Dobit će se (C_n^k) jednačbi gdje je (n) ukupan broj pritoka, a (k) broj pritoka koji se koriste za konstrukciju pojedinih jednačbi. Primjerice, ako je $(n = 8)$, tada je broj jednačbi s jednim pritokom $(C_8^1 = 8)$, sa dvije $(C_8^2 = 28)$, tri $(C_8^3 = 56)$, četiri $(C_8^4 = 70)$, pet $(C_8^5 = 56)$, šest $(C_8^6 = 28)$ i sedam $(C_8^7 = 8)$.

Za rješenje sustava jednačbi višestruke korelacijske ovisnosti postoje izrađeni programi za računala.

Od svih mogućih jednačbi praktičnu vrijednost imaju samo one kod kojih je $(k_j / \sigma_{k_j} \geq 2)$, gdje je (k_j) apsolutna veličina koeficijenta regresije, a (σ_{k_j}) srednje kvadratno odstupanje koeficijenta regresije (k_j) .

Na temelju iskustava s primjenom višestruke korelacije pri analizi raznih hidroloških pojava, može se pretpostaviti da će i pri analizi pronosa lebdećeg nanosa spomenuti uvjet ispuniti sve jednačbe u kojim je (y) funkcija nanosa samo jedne ili dvije bilo koje pritoke i stanoviti broj jednačbi bilo koje tri pritoke. Jednačbe u kojima je (y) funkcija pronosa nanosa četiri i više pritoka

vjerojatno neće ispuniti ovaj uvjet. U daljnjem postupku, oslanjajući se na značenja (k_j / σ_{k_j}) , moguće je ocijeniti kojoj jednadžbi treba dati prednost. To je vrlo lako odrediti jer prednost imade ona jednadžba koja imade najveći omjer (k_j / σ_{k_j}) .

Na koncu proračuna, zamjenom primjerenih vrijednosti za $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, prema podacima u motrenim razdobljima, dobiva se krivulja $(y = f(t))$ pronosa nanosa u riječnom toku. Praktički se prema objašnjenjima metode dobivaju tri krivulje tipa $(y = f(t))$ prema tri sustava jednadžbi koji u sebi sadrži ovisnost (y) o samo jednoj, dvije ili tri pojave pronosa lebdećeg nanosa u pritocima.

Ovako dobiveni kronološki redovi mogu biti od velikog značenja za ocjenu količine pronosa nanosa u jednom vodotoku tijekom jedne ili više godina i o unosu tog nanosa u akumulaciju ako takva postoji.

3. Prognoza pronosa

Opisane analize posebice se mogu iskoristiti za prognozu pronosa lebdećeg nanosa u jednom slijevu. Ekstrapolacija prognostičkog procesa $y(t)$ može se ostvariti preko sljedeće ovisnosti:

$$y_{t+m-1} = f(y_{t-1}, y_{t-2}, y_{t-3}, \dots, y_{t-\tau}) \quad (3.1)$$

gdje je $(m - 1 = k)$ razdoblje prognoze, (y_{t+m-1}) prognozirana (ekstrapolirana) vrijednost pronosa nanosa, $(y_{t-1}, y_{t-2}, \dots)$ vrijednosti pronosa nanosa u prethodnim razdobljima. Pri linearnoj ovisnosti jednadžba (3.1) dobiva sljedeći vid:

$$y_{t+m-1} = \sum_1^n k_{m(\tau)} y_{(t-\tau)} y_{t+m-1} = \sum_1^n k_{m(\tau)} y_{(t-\tau)} \quad (3.2)$$

gdje je $(k_{m(\tau)})$ ekstrapolacijska funkcija.

Pronos nanosa promatran kao slučajni proces treba biti dinamičko-statistički povezan, tj. sudjelovati uzajamna veza između prethodnog i budućeg stanja. Bitno značenje može biti u autokorelacijskoj funkciji određenoj sljedećim izrazom:

$$R_{(\tau)} = \frac{1}{\sigma^2} M(y_{(t)} y_{(t-\tau)}) \quad (3.3)$$

gdje je (σ^2) disperzija reda $(y_{(t)})$. Kao kriterij za učinak jednadžbe može poslužiti sljedeći izraz:

$$t_R = 2 \frac{\tau_k - \tau_1}{N - 1} \geq 8 \quad (3.4)$$

gdje su (τ_k) i (τ_1) apscise posljednje i prve točke u kojima se nulta vodoravna os ($R = 0$) križa sa autokorelacijskom funkcijom, a (N) ukupan broj križanja.

Ako je $(t_r \geq 8)$ jednadžba je učinkovita.

Koeficijent ekstrapolacije određuje se formulom:

$$k_{m(\tau)} = \frac{D}{D_{n-1}} \quad (3.5)$$

gdje je (D) determinanta (m) redaka i stupaca:

$$D = \begin{vmatrix} 1 & R_1 & R_2 & \dots & R_{n+m-1} \\ R_1 & 1 & R_1 & \dots & R_{n+m-2} \\ R_2 & R_1 & 1 & \dots & R_{n+m-3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n+m-1} & R_{n+m-2} & R_{n+m-3} & \dots & 1 \end{vmatrix} \quad (3.6)$$

a (D_{n-1}) determinanta sljedećeg oblika:

$$D = \begin{vmatrix} 1 & R_1 & R_2 & \dots & R_{n-1} \\ R_1 & 1 & R_1 & \dots & R_{n-2} \\ R_2 & R_1 & 1 & \dots & R_{n-3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n-1} & R_{n-2} & R_{n-3} & \dots & 1 \end{vmatrix}$$

U determinantama (D) i (D_{n-1}) veličine $(R_1, R_2, R_3, \dots, R_n)$ su vrijednosti autokorelacijske funkcije (R_τ) pri $(\tau = 1, 2, 3, \dots, n)$.

4. Najveći pronos

Riječni bazeni se jako razvijaju i za njih je značajna visoka razina melioracija poljoprivrede, graditeljstva i korištenja vodnih resursa. U uvjetima pojačanja osobitosti industrijske proizvodnje i poljoprivrede često je neophodno ispitati kruženje lebdećeg nanosa i ocijeniti dopustivu točku od koje je potrebno poduzeti mjere zaštite.

Ako se pretpostavi da je broj tvoritelja lebdećeg nanosa jednak (n) i ako se označi da j . tvoritelj tvori i . ingredijent pronosa nanosa, tada se može napisati da je jakost pronosa nanosa jednaka:

$$i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$S_{ij} = g_i A_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4.1)$$

gdje je (g_i) unos i . ingredijenta u $(\text{kg}/\text{m}^2 \text{ s})$, a (A) j . površina u (m^2) .

Vrijednosti jakosti pronosa nanosa $(N_{1j}, N_{2j}, N_{3j}, \dots, N_{mj})$ jednog j . tvoritelja nanosa uobičajeno predočavaju određene omjere s vrijednostima $(k_{1j}, k_{2j}, k_{3j}, \dots, k_{mj})$:

$$\frac{N_{1j}}{k_{1j}} = \frac{N_{2j}}{k_{2j}} = \dots = \frac{N_{mj}}{k_{mj}} \quad (4.2)$$

gdje $(k_{1j}, k_{2j}, k_{3j}, \dots, k_{mj})$ mogu biti neki brojevi primjereni j . tvoritelju lebdećeg nanosa.

Sukladno tome, a prema jednadžbi (4.1), mogu se izjednačiti sljedeći omjeri:

$$\frac{N_{1j}}{g_1} = \frac{N_{2j}}{g_2} = \dots = \frac{N_{1j}}{g_1} = \frac{N_{2j}}{g_2} = \dots = \frac{N_{mj}}{g_m} = A_j \quad (4.3)$$

Usredotočenje i . tvoritelja nanosa (C) u kontrolnom profilu (KP) ovisi o veličinama $(N_{i1}, N_{i2}, N_{i3}, \dots, N_{in})$ i može se opisati sljedećom funkcijom:

$$C_i^{\text{KP}} = g_i(N_{i1}, \dots, N_{in}, N_{21}, \dots, N_{2n}, \dots, N_{m1}, \dots, N_{mn}) \quad (4.4)$$

Ako je usredotočenje (C_i^{KP}) posljedica zbroja pronosa svih tvoritelja nanosa, onda je:

$$C_i^{\text{KP}} = g_{i1}(N_{i1}) + g_{i2}(N_{i2}) + \dots + g_{in}(N_{in}) \quad (4.5)$$

Uvjet koji se sastoji u tome da usredotočenje i . tvoritelja u (KP) ne premaši određeno značenje (C_i^{D}) može se opisati sljedećim sustavom nejednadžbi:

$$g_i(N_{i1}, N_{i2}, \dots, N_{in}) \leq C_i^{\text{D}} \quad (4.6)$$

a sustav rubnih uvjeta za jednadžbu (4.5) dobiva oblik:

$$g_{i1}(N_{i1}) + g_{i2}(N_{i2}) + \dots + g_{in}(N_{in}) \leq C_i^{\text{D}} \quad (4.7)$$

Ako usredotočenje (C_i^{KP}) ne ovisi samo o jakostima pronosa nanosa $(N_{i1}, N_{i2}, N_{i3}, \dots, N_{in})$, nego i o neodređenom parametru (n_i) koji može biti i vektorskog značenja i koji se mijenja u predjelima skupa (S_i) , tada se može napisati sljedeći rubni uvjet:

$$\max g_i(N_{i1}, N_{i2}, N_{i3}, \dots, N_{in}, n_i) \leq C_i^D \quad (4.8)$$

$$n_i \in S_i$$

Kada je $(C_i^{KP} = g_i(N_{i1}, N_{i2}, N_{i3}, \dots, N_{in}, m_i))$, gdje je (m_i) jedna slučajna veličina, tada će (C_i^{KP}) također biti slučajna veličina i sustav rubnih uvjeta dobiva sljedeći vid:

$$E g_i(N_{i1}, N_{i2}, N_{i3}, \dots, N_{in}, m_i) \leq C_i^D \quad (4.9)$$

gdje je (E) matematsko očekivanje.

Ukoliko postoje ustanovljena srednja značenja, tada se jednadžba (4.8) može izraziti u sljedećem vidu:

$$D g_i(N_{i1}, N_{i2}, N_{i3}, \dots, N_{in}, m_i) \leq D_i \quad (4.10)$$

gdje je (D) disperzija, a (D_i) dostatno mali broj.

Analogno se mogu analizirati i rubni uvjeti sustava nejednadžbi (4.7).

Korištenjem jednadžbe (4.2), tj. uzimanjem svih (N_{ij}, \dots, N_{mj}) pri $(j = 1, 2, 3, \dots, n)$ i uvođenjem u jednadžbu (4.6), dobit će se u jednadžbi (4.6) neovisne varijable $(N_{i1}, N_{i2}, N_{i3}, \dots, N_{in})$ koje se mogu označiti kao $(z_1, z_2, z_3, \dots, z_n)$. U tom slučaju jednadžba (4.6) dobiva sljedeći vid:

$$h_i(Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n) \leq C_i^D, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (4.11)$$

s tim što je

$$h_1(Z_1, \dots, Z_n) = g_1(N_{11}, \dots, N_{1n}) \quad (4.12)$$

$$h_2(Z_1, \dots, Z_n) = g_2\left(\frac{k_{21}}{k_{11}} N_{11}, \dots, \frac{k_{2n}}{k_{1n}} N_{1n}\right), \text{ itd.} \quad (4.13)$$

Neka je (Z) skup svih vektora $(Z \in R^n)$ s pozitivnim komponentama. Slučaj kada (Z) sadrži samo jedan element ne predočava osobit interes. S druge strane (Z) se može teorijski sastojati od beskonačnog broja elemenata. To navodi na analizu dopustivih jakosti koja neće uvjetovati premašenja usredotočenja $(C_1^D, C_2^D, C_3^D, \dots, C_m^D)$. Postavlja se pitanje odabira takvog elementa (z) u skupu (Z) koji će biti optimalan. To znači da je potrebno formulirati zadaću optimizacije $(z^{opt} \in Z)$ kao $f_i(z^{opt}) = \max f_i(z), z \in Z$, a tada se može kazati da je to najpovoljniji slučaj.

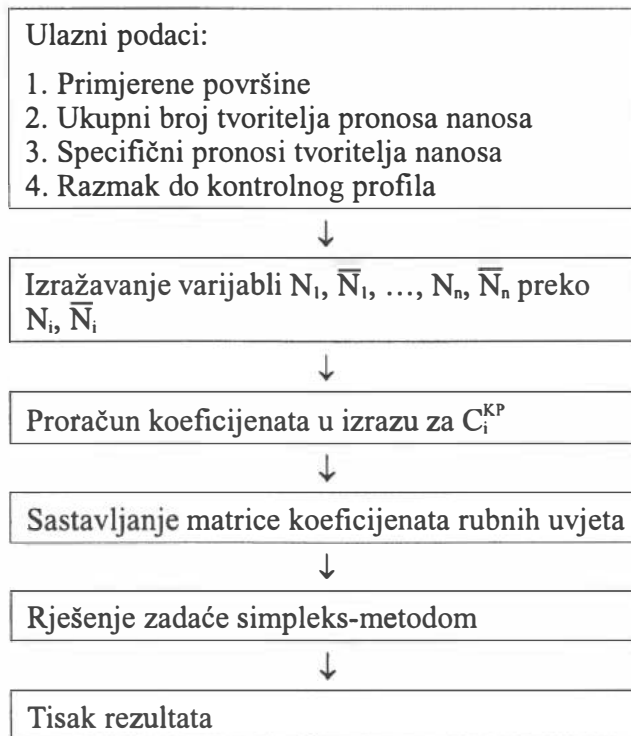
Takav idealan slučaj pri kojem se vektor (z^{opt}) maksimizira po svim kriterijima istodobno praktički ne postoji. Stoga se kriterij provodi u opću ljestvicu, tj. izlazni kriterij, i uvodi se:

$$f_i^{\max} = \max_{z \in Z} f_{i(z)} = \max_{z \in Z} f_{i(z)}, z \in Z,$$

pa se promatra normalizirani kriterij:

$$f_i = \frac{f_{i(z)}}{f_i^{\max}}$$

Ovako postavljen kriterij, koji može imati različite slučajeve može se riješiti simplex-metodom iz teorije linearnog programiranja. To se prije svega odnosi na maksimiziranje veličine (z) pri raznim rubnim uvjetima. Blok shema algoritma dana je u sljedećem prilogu:



5. Zaključak

Opisanom metodom višestruke linearne korelacije pojava različitih pronosa lebdećeg nanosa i metodom proračuna najvećeg pronosa tog nanosa u jednom slijevu može se predočiti razdioba tih pronosa u promatranom razdoblju, prognozirati razdioba u nekom budućem razdoblju i utvrditi dopustivi pronos koji može biti jedan od ograničavajućih čimbenika razvoja industrijske i poljoprivredne proizvodnje tog područja.

LITERATURA

- (1) DIACON, A.: Modifications physique dans le milieu environnant, determinees par des barages et des usines. – Proc. XI ICBD Congr., Madrid, 1973.
- (2) DOLGOV, P.: Metodi ekonomičeskogo izmerenija vozdejstvija proizvodstvennih sistem na okružujuščuju sredu. – Leningrad, 1976.
- (3) HINO, M.: Prediction of nutrient loading limit to prevent eutrophication of reservoirs by three rank biological system model. – Proc. XX IAHR Congress, Moskow, vol. I, 1983.
- (4) BOGOLJUBOV, G.: Metoda rasčeta dopustimoga postupljenija biogenih elementov v ekosistemi vodoemov. – Leningrad, 1983
- (5) ROEFS, C.: Stochastic reservoir models. – Wat. Res., Vol. 11, N 6, 1975.
- (6) ROŽDESTVENSKIJ, A.: Statističeskije metodi v gidrologiji. – »Gidrometeoizdat«, Leningrad, 1974
- (7) ŠIŠKIN, I.: Matematičeskije modelirovanije perenosa primjesej i prognozirovannije sostava okružajuščej sredi. – Leningrad, 1981.
- (8) VASILJEV, J., HRISANOV, N.: Ekologičeskije aspekti hidroenergetiki. – Leningrad, 1984.
- (9) VISSMAN, W., JR: Introduction to Hydrology. – New York, 1979.
- (10) VOTRUBA, L.: Vodohospodarske soustavy. – Praha, 1979.
- (11) VUKELIĆ, Z.: Sistem praćenja i kontrole u pregrađenom toku. – Naučnoistraživački projekt, Priština, 1980.
- (12) VUKELIĆ, Z.: Zaštita vode u malim akumulacijama. – Savetovanje o malim akumulacijama, Priština, 1980
- (13) VUKELIĆ, Z.: Degree of Mixing of Pollutants in the Vardar River through the Area of the City of Skopje as a Function of the Probability. – XXI IAHR Congress, Melbourne, 1985.
- (14) VUKELIĆ, Z.: Primjena metoda korelacije i optimizacije pri ocjeni unosa zagađivala u akumulaciju. – »Zaštita voda 1989.«, I. knjiga, 363.–373., Rovinj, 1989.
- (15) WOOD, A.: Real-time forecasting control of water resources systems. – Proc. NASA, Vienna, 1976.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Čedomir Miler

R 7-11

Izrada, uvođenje i korištenje matematičkih modela vodoopskrbnog sustava otoka Krka

SAŽETAK: *Primjena matematičkih modela u projektiranju i analizi vodoopskrbnih sustava u Hrvatskoj još uvijek je vrlo rijetka. Samo nekoliko projektantskih kuća i vodovoda redovito ih koristi u svom radu.*

Osobna računala i programi za matematičko modeliranje su svojim cijenama zadnjih godina postali pristupačni. Ono što je nekada radio samo uži krug specijalista na "velikim" računalima, danas je dostupno i manjim vodovodima.

Bez obzira da li matematički model izrađuje specijalizirana projektantska kuća ili sam vodovod, presudnu ulogu u cijelom poslu imaju stručnjaci iz vodovoda koji moraju prikupljati podloge, surađivati pri stvaranju modela, ocjenjivati rezultate kalibracije i na kraju koristiti model.

Model koriste stručnjaci vodovoda za upravljanje, projektiranje i planiranje razvoja vodoopskrbnog sustava te obavljanje neophodnih analiza. Te analize obuhvaćaju, kako sustav u cjelini, tako i ulogu pojedinih objekata i zona potrošnje u vodoopskrbnom sustavu. Korištenjem modela u vodovodima moguće je znatno povećati efikasnost upravljanja te kvalitetu projektiranja razvoja i rekonstrukcije sustava, a samim tim i smanjiti troškove. Matematički modeli trebali bi u vodovodima postati jedan od osnovnih alata, kojim će se služiti stručnjaci koji dobro poznaju svoj sustav.

KLJUČNE RIJEČI: *vodoopskrbni sustav, matematički model, podloge, simulacija, analiza, rezultati*

Development, Installation and Application of Mathematical Models for the Island of Krk Water Supply System

ABSTRACT: *Application of mathematical models in design and analysis of the Croatian water supply systems is still rather infrequent. Only several design and water companies use them on regular basis.*

The personal computers and mathematical modelling programs have reached reasonable prices during the last years. What has once been available only to a small number of specialists on "large computers" is presently accessible to minor water companies as well.

Irrespective of whether the mathematical model is prepared by a specialized company or the water company itself, the role of the water company experts is crucial since they are to collect the data, participate in model development, evaluate the calibration results and, ultimately, use the model.

The model is used by the water authority experts for management, design and planning of the water supply system development and conducting of necessary analyses. The analyses involve both the complete water supply system and the function of particular system facilities and consumption zones.

The model utilization enables considerable increase in management efficiency and in quality of the system development and reconstruction design and, consequently, reduction in costs. The mathematical models should become one of the fundamental tools in water companies, used by the professionals well acquainted with their system.

KEY WORDS: *water supply system, mathematical model, supporting documentation, simulation, analysis, results*

1. Uvod

Još su nedavno matematičko modeliranje i primjena modela bili ograničeni na potrebe pojedinog projekta ili studije. Od trenutka kad su osobna računala postala dostupnija srednjim i manjim poduzećima, matematičko modeliranje počelo se primjenjivati i u samim vodovodima. Istina, primjena tih modela još uvijek nije općeprihvaćena, ali uzrok tome nije prvenstveno financijske prirode.

Prvi koraci informatizacije poslovanja u vodovodu Ponikve predstavljali su upravo izradu matematičkog modela vodoopskrbnog sustava otoka Krka. Izrada prvog modela, još 1987. godine, trajala je pet mjeseci, a rezultirala je 24 satnom simulacijom cijelog vodoopskrbnog sustava u ljetnom periodu. Ova prva simulacija i analiza ukazale su na neka "uska grla" i na neke nelogičnosti u radu samog vodoopskrbnog sustava.

2. Izrada i uvođenje matematičkih modela

Od 1987. pa do sredine 1994. godine, u vodovodu Ponikve izrađeno je ukupno 17 matematičkih modela i to:

- MM otoka Krka (glavni objekti i transportni cjevovodi)
 - MM mjesta Krk
 - MM mjesta Punat
 - MM mjesta Vrbnik
 - MM mjesta Baška
 - MM vodovodne mreže Dina petrokemija Omišalj
 - MM predviđenog vodoopskrbnog sustava otoka Krka u 2.020. godini
 - MM budućeg vodoopskrbnog sustava područja Sotovento
 - MM budućeg vodoopskrbnog sustava područja Dobrinjštine,
- te razne kombinacije navedenih matematičkih modela.

2.1. Podloge matematičkog modela

Za izradu modela neophodne su četiri grupe podataka i to:

- izvorišta vode,
- objekti vodoopskrbnog sustava,
- distribucijska mreža,
- potrošnja vode.

2.1.1. Izvorišta vode

Potrebno je prikupiti podatke o broju, lokaciji i kapacitetima izvorišta, te o načinu na koji se ta voda uvodi u vodoopskrbni sustav. Za izvorišta kojima se kapacitet mijenja tijekom godine, potrebno je registrirati minimalne i maksimalne kapacitete te godišnje promjene.

2.1.2. Objekti vodoopskrbnog sustava

Pod objektima vodoopskrbnog sustava podrazumijevaju se:

- crpne stanice,
- uređaji za pročišćavanje vode,
- prekidne komore,
- vodospreme,
- regulacijski uređaji.

Za crpne stanice potrebno je prikupiti podatke o broju, tipu i karakteristikama svake crpke (Q-H-P dijagram). (Prilog broj 1)

Za uređaje za pročišćavanje vode potrebno je prikupiti podatke o kapacitetima.

Za prekidne komore i vodospreme (vodotornjeve) treba prikupiti podatke o dimenzijama objekta, kotama preljeva i dna, te o zapremini. Za regulacijske uređaje, kao što su ventili, klapne, reducirani pritiska i plovni ventili, potrebno je prikupiti podatke o profilima, radnim karakteristikama, a ponekad je potrebno izraditi i skicu kako taj uređaj radi.

2.1.3. Distribucijska mreža

Distribucijska mreža treba biti prikazana na kartama odgovarajućeg mjerila, ovisno o razmatranom području. Na tim kartama treba definirati čvorove, kao što su izvorišta, vodospreme, grananja cjevovoda, promjena profila cjevovoda, veći potrošači itd. Tim podacima treba dodati podatke o cjevovodima, kao što su dužina, unutarnji promjer, procjena hrapavosti, te podatke o armaturi.

2.1.4. Potrošnja vode

Za potrebe modela potrebno je identificirati veće potrošače vode, kao što su hoteli, industrijska poduzeća, bolnice, škole itd. Ostale potrošače treba grupirati po zonama, koje obično odgovaraju stambenim zonama. Takve zone trebale bi imati, po mogućnosti, samo jednu kategoriju potrošača.

Za svakog potrošača ili zonu treba prikupiti podatke o stvarnoj potrošnji, ili je procijeniti. Isto tako, potrebno je prikupiti informacije o dnevnim neravnomjernostima potrošnje za sve kategorije potrošača (0-24^h).

2.2 Prikupljanje podloga

Prikupljanje svih neophodnih podloga bio je najdugotrajniji i najodgovorniji posao, jer svi podaci o vodoopskrbnom sustavu nisu bili potpuno sređeni i evidentirani na jednom mjestu. Podatke je bilo potrebno prikupljati s raznih mjesta i podloga, a dio podataka bilo je potrebno prikupiti i na samom terenu. U procesu prikupljanja podataka koristila su se znanja i iskustva radnika vodovoda, a onaj dio podataka koji je bio u potpunosti nepoznat, a toga je bilo jako malo, morao se pretpostaviti i kao takav uzeti u daljnja razmatranja.

Lokacije svih objekata i ostalih čvorova sustava izražene su uglavnom u apsolutnim koordinatama (y,x,z) , što omogućava automatsko iscertavanje modela.

Kapaciteti svih izvorišta bili su dobro poznati, jer se njihova izdašnost pratila tijekom dužeg vremenskog razdoblja. U analizama za ljetni period uzimala se minimalna izdašnost, što predstavlja stvarno raspoloživu količinu u tom periodu godine.

Svi objekti registrirani su sa svim neophodnim podacima za modeliranje.

Podaci o distribucijskoj mreži prikazivani su na raznim podlogama, ali uvijek tako da su bili vidljivi svi čvorovi i potrebni podaci o svakoj dionici cjevovoda. Podaci o čvorovima registrirani su u posebnim tabelama.

Podaci o potrošnji vode prikupljani su iz nekoliko izvora. Kako Ponikve raspolažu sa sustavom daljinskog nadzora i upravljanja, iz ovog su izvora prikupljeni najznačajniji i najtočniji podaci o potrošnji pojedinih zona. Kako ovaj sustav proziva periferne stanice svakih 5 minuta, na raspolaganju je stajao veliki broj podataka i o količini i o rasporedu potrošnje tijekom dana, tjedna ... Za potrebe izrade matematičkog modela distribucijskog sustava cijelog otoka "skinuto" je oko 50.000 mjerenja protoke. Od tih podataka načinjeni su dijagrami dnevnih neravnomjernosti potrošnje za pojedina mjesta ili zone. (Prilog broj 2) Osim toga, korišteni su podaci sa kontrolnih vodomjera na distribucijskoj mreži, koje su radnici vodovoda očitavali dnevno, tjedno ili mjesečno. Kao izvor podataka o potrošnji većih potrošača korišteni su podaci iz naplatne službe, a vršena su i mjerenja na terenu u trajanju od jednog pa do sedam dana. Takva mjerenja vršena su za razne vrste potrošača.

2.3. Kalibriranje matematičkih modela

Kako u svakom modelu postoji određeni broj pretpostavki, svaki se model kalibrirao kako bi rezultati proračuna na modelu čim vjernije dočarali situaciju u vodoopskrbnom sustavu za određeni datum. Za tu svrhu korišteni su podaci iz dnevnika pogona crpnih stanica, s kontrolnih vodomjera i sustava daljinskog nadzora i upravljanja. Od velike važnosti bilo je i iskustvo radnika vodovoda.

Tek nakon kalibriranja modela moglo se pristupiti korištenju modela.

3. Korištenje matematičkih modela

Program WESNET, koji se koristi za izradu modela i hidrauličke proračune, instaliran je na osobnom računalu sljedećih karakteristika:

PC 386/40, 8 MB RAM, 100 MB HD, VGA grafička kartica. Vrlo dobre grafičke mogućnosti ovog programa omogućuju ugodan rad s programom i odličan pregled rezultata simulacija. (Prilog broj 3)

Izrađeni matematički modeli koristili su se u razne svrhe kao što su:

- simulacija dana maksimalne potrošnje,
- simulacija dana minimalne potrošnje,
- simulacija incidentnih situacija,
- analiza maksimalnih kapaciteta pojedinih cjevovoda,
- analiza maksimalne mogućnosti rezervoara u pogledu izravnjanja promjena dnevne potrošnje,
- analiza maksimalne propusne moći pojedinih armatura,
- analiza neophodnih rekonstrukcija na vodoopskrbnom sustavu,
- analiza formiranja visinskih zona,

- analiza smanjenja pogonskih troškova,
- analiza problema vodoopskrbe u pojedinim zonama,
- analiza raznih načina upravljanja vodoopskrbnim sustavom,
- analiza projektantskih rješenja vodoopskrbnog sustava, - analiza mogućih varijantnih rješenja vodoopskrbe područja bez vode.

Sve simulacije i analize rađene su za period od nekoliko sati do nekoliko dana, već prema potrebi.

3.1. Matematički model vodoopskrbnog sustava otoka Krka (izvorišta, crpne stanice, vodospreme, glavni transportni cjevovodi...)

Ovaj model izrađen je 1987. godine i do danas je stalno doradivan. Na njemu je napravljeno najviše simulacija i analiza, a prvenstveno su se odnosile na pronalaženje maksimalnih kapaciteta pojedinih dijelova vodoopskrbnog sustava. Ovaj model predstavljao je i osnovu za izradu modela vodoopskrbnog sustava otoka Krka za 2.020. godinu. Prikupljeni podaci o planovima razvoja svih općina na otoku Krku i o mogućnostima osiguranja dovoljnih količina pitke vode, omogućili su dimenzioniranje svih objekata i cjevovoda u sustavu. Pri ovom dimenzioniranju uzet je u obzir željeni način upravljanja vodoopskrbnim sustavom.

3.2. Matematički model mjesta Krk

Matematički model vodoopskrbnog sustava mjesta Krk izrađen je 1988. godine i, kao i svi modeli, do danas je stalno doradivan na temelju novih saznanja. (Prilog broj 4) Ovaj, a i slični modeli, koristio se prvenstveno za potrebe rekonstrukcije uličnih cjevovoda i proširenje mjesne mreže. Kod modeliranja mjesnih mreža najveći problem predstavljao je nedostatak kvalitetnih podloga (geodetske snimke).

3.3. Matematički model budućeg vodoopskrbnog sustava Sotovento

Ovaj model izrađen je za potrebe projektiranja budućeg vodoopskrbnog sustava područja Sotovento. Na njemu su se provjeravale projektantske veličine u ovisnosti o željenom načinu upravljanja sustavom. Neke od projektantskih veličina doživjele su promjene, a projektant je upoznat i s novim načinom upravljanja vodoopskrbnim sustavom, podržanim sustavom daljinskog nadzora i upravljanja. Ovaj sustav predstavlja novinu u vodovodu Ponikve (1991.), na kojoj će se bazirati budući način upravljanja vodoopskrbnim sustavom. Time će se omogućiti maksimalno iskorištenje postojećih kapaciteta, kvalitetnija vodoopskrba, ušteda u pogonskim troškovima i odgađanje investicija na kapitalnoj infrastrukturi za duži period (5 do 10 godina).

3.4. Kriteriji za ocjenu rezultata simulacije na modelima

Simulacijom na modelu dobiva se velik broj rezultata u obliku tabela ili grafikona. Korisnik modela mora na temelju tih rezultata zaključiti da li vodoopskrbni sustav radi dobro ili ne. Ovaj zadatak može biti veoma težak ako se radi o sustavu sa puno objekata, razgranatoj vodoopskrbnoj mreži i puno raznih uvjeta koji moraju biti zadovoljeni. Bilo koji nezadovoljeni zahtjev ili ograničenje u rezultatu simulacije je neprihvatljiv. U tom slučaju treba promijeniti granične i/ili početne zahtjeve, ili neke od elemenata modeliranog vodoopskrbnog sustava, te provesti ponovnu simulaciju. Kako 24-satna simulacija jednog srednje velikog modela traje samo nekoliko minuta, moguće je izvršiti velik broj simulacija u jednom danu i naći optimalno rješenje problema.

4. Zaključak

Matematičko modeliranje vodoopskrbnog sustava na otoku Krku traje već osam godina. U tom periodu načinjen je veći broj modela koji su poslužili za najrazličitije analize. Rezultati tih analiza omogućili su kvalitetnije upravljanje vodoopskrbnim sustavom, uštedu u pogonskim troškovima, a isto tako i kvalitetnije planiranje proširenja vodoopskrbnog sustava. Povezivanje matematičkih modela sa sustavom daljinskog nadzora i upravljanja podići će nivo upravljanja vodovodom na još viši nivo, a sve to na zadovoljstvo radnika vodovoda i potrošača vode.

Literatura

- Obradović D., Čavor R., Izrada i uvođenje matematičkog modela vodoopskrbnog sistema, Voda i sanitarna tehnika, Beograd 1989.
- Obradović D., Kordić M., Obim i sadržaj analiza na matematičkom modelu vodoopskrbnog sistema, Voda i sanitarna tehnika, Beograd 1989.

Prilozi

- Prilog broj 1** Q-H-P dijagram pumpe
Q-H-P pump diagram
- Prilog broj 2** Dijagram dnevne neravnomjernosti potrošnje za Njivice
Demand diagram: hour to hour change for Njivice
- Prilog broj 3** Kombinirani dijagram - nivo / protok
Combined diagram - level / flow
- Prilog broj 4** Matematički model mjesta Krk
Mathematical model of the town of Krk

otok KRK - postojeće stanje

Pump Station: CS EB2

Pump Type: PN 83-7

Rated values :

Flow : 24.0 l/s

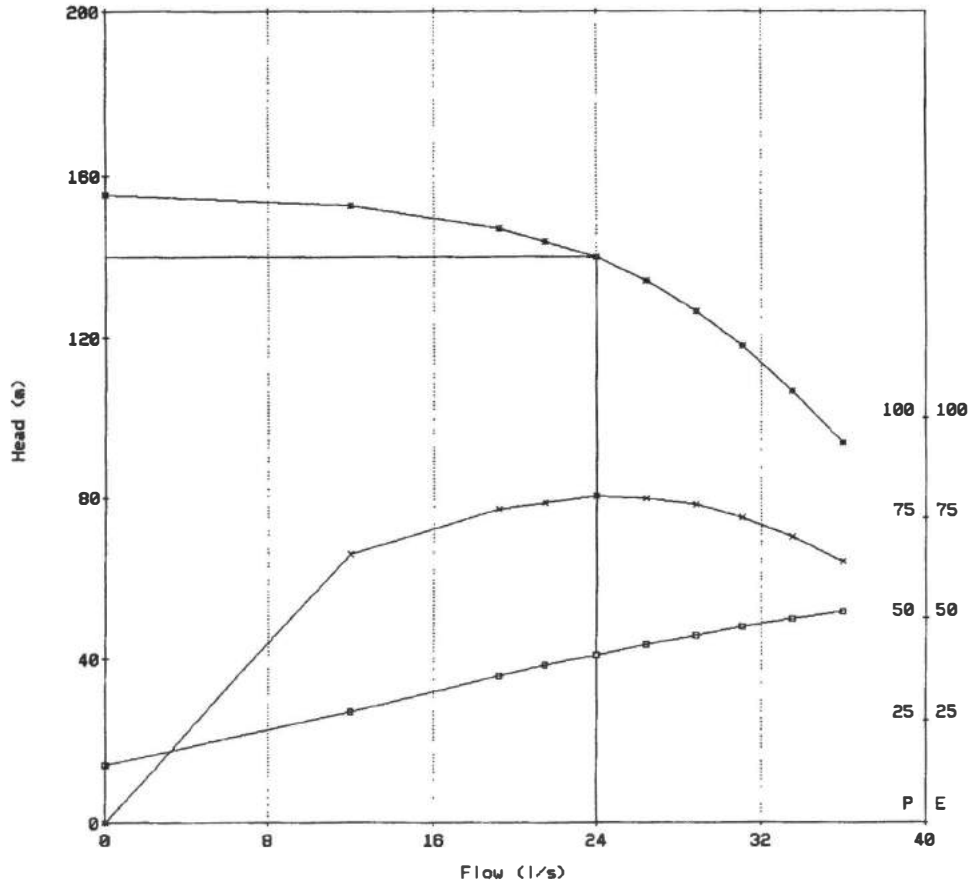
Head : 140.0 m

Speed: 2900. rpm

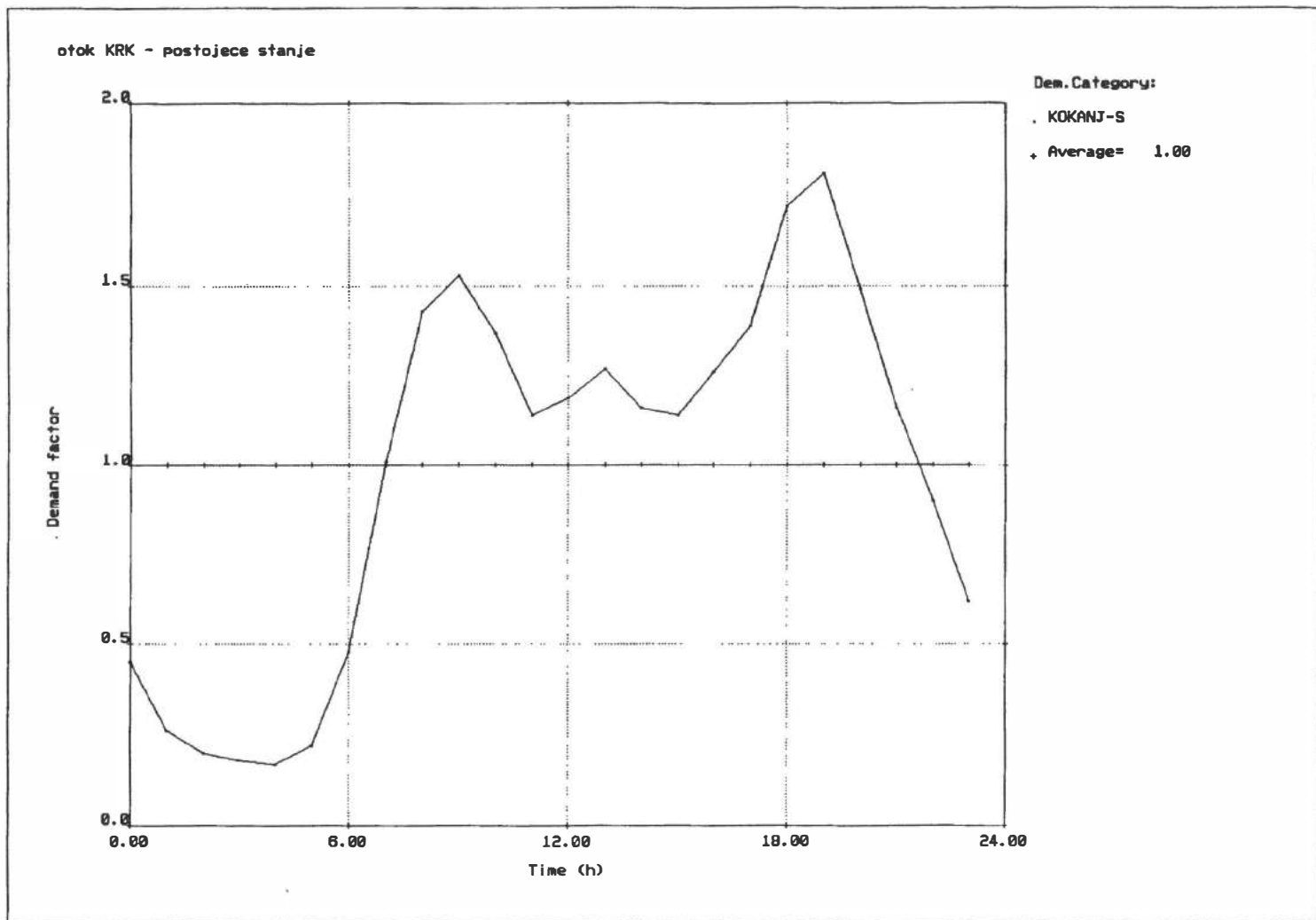
Nstgs: 7 -

Power: 41.0 Kw

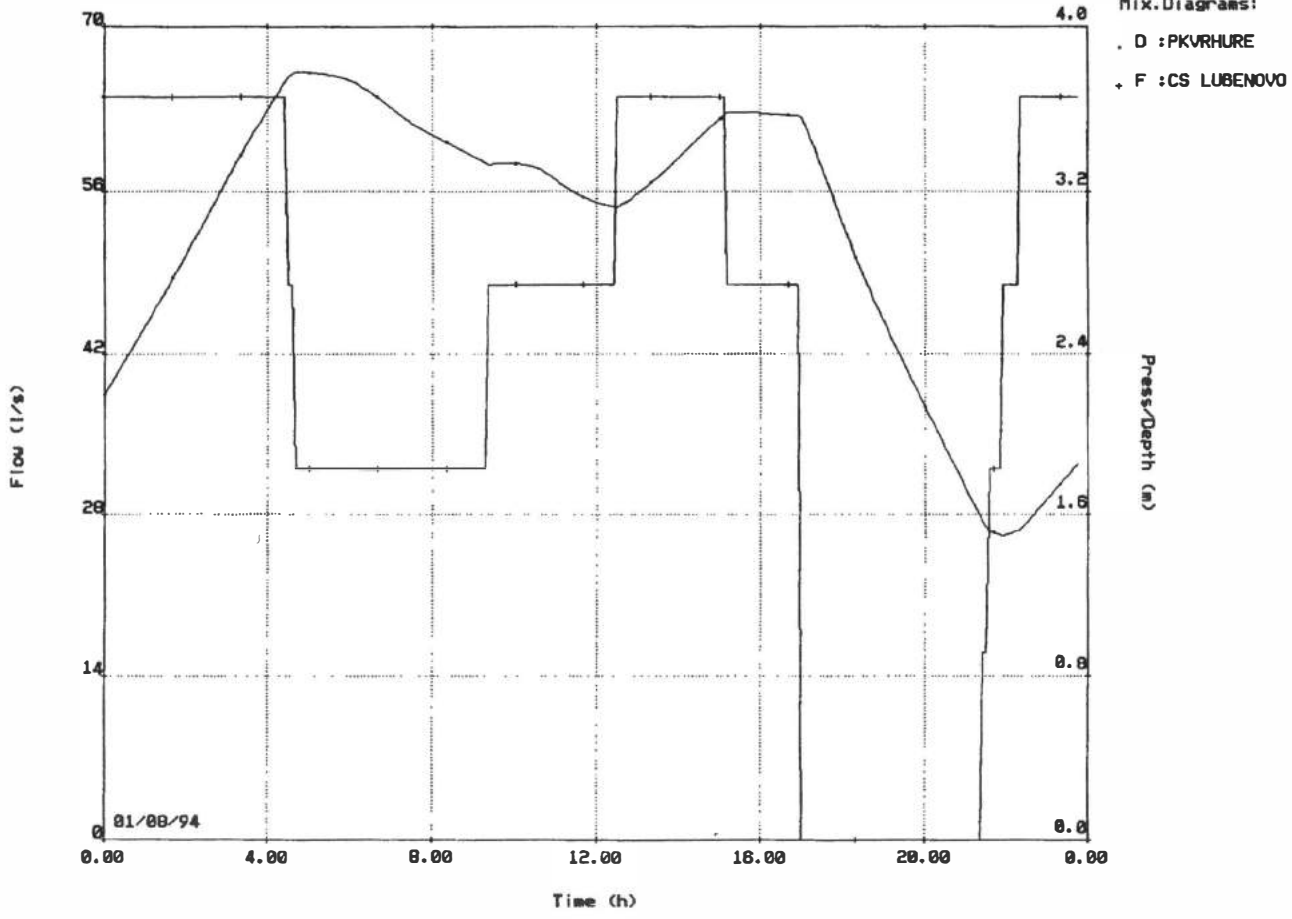
Eff. : 80.4 %

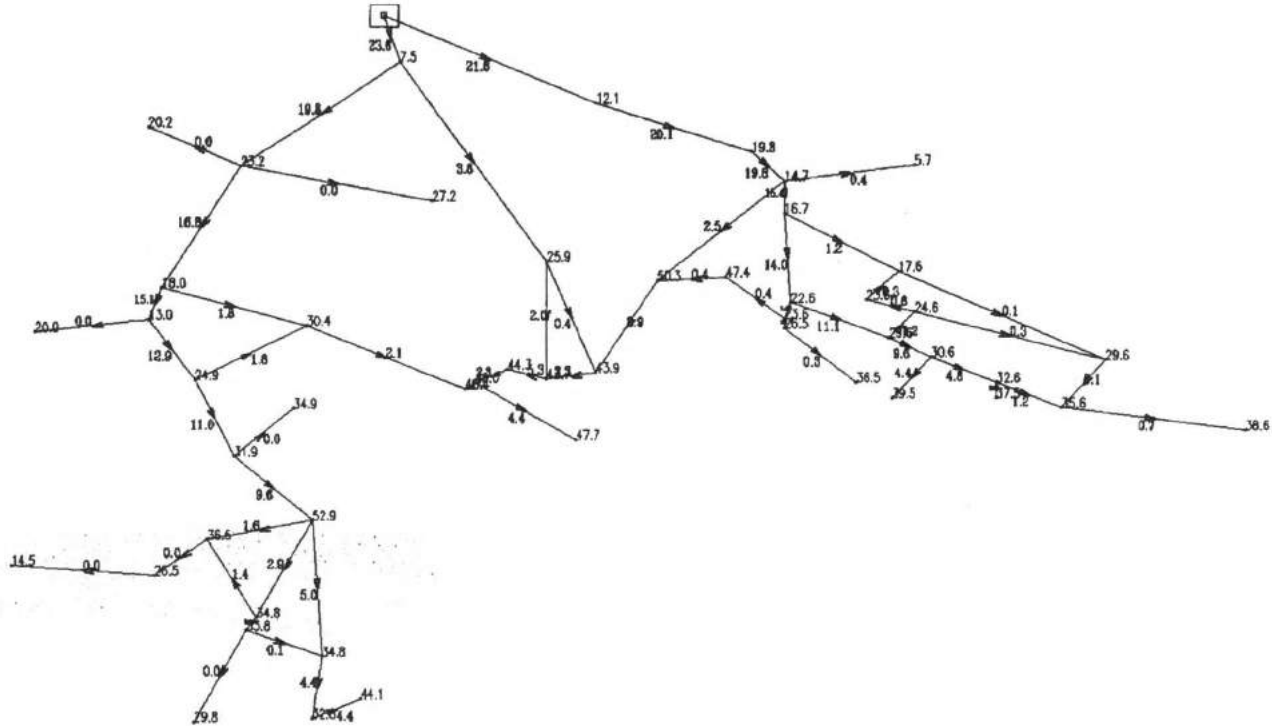


- Head (m)
- Power (Kw)
- × Efficiency (%)



Sotovento - 2020.LJETO







1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Goran Gjetvaj

R 7-12

Primjer povećanja učinkovitosti izgrađene horizontalne taložnice

SAŽETAK: Projektiranje uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, zbog promjenljivosti svojstva i kvantitete vode koja dolazi na uređaj, često se zasniva na rezultatima rada probnih (pilot) uređaja. U taložnicama izgrađenim u sklopu uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Bjelovara, zbog nekoliko propusta nastalih prilikom projektiranja i izgradnje, javljala se povećana količina mulja na izlazu iz uređaja. U ovom je radu prikazan slijed radnji kojima je utvrđen uzrok pojavi povećane količine taloga u efluentu, te način na koji je pospješjen rad postojećih taložnica. Pri tome je analizirana učinkovitost svakog provedenog zahvata na taložnici.

KLJUČNE RIJEČI: taložnica, uređaji za pročišćavanje, otpadne vode

An Example of Increase in Completed Horizontal Sumps Efficiency

ABSTRACT: Waste water treatment plant designs are often based on the results of pilot plant operation due to unsteady characteristics and quantity of water entering the plant. Due to several mistakes in design and construction of sumps built within the waste water treatment plants for the town of Bjelovar, the increased quantity of sludge was noticed at the plant outlet. The paper describes a sequence of activities which lead to detection of the cause for increased quantity of sediment in effluent, and the method by which the operation of the existing sumps was improved. The efficiency of all applicable actions on the sump was analyzed.

KEY WORDS: sump, waste water treatment plant, waste water

1. Uvod

Problemi vezani za pročišćavanje otpadnih voda su vrlo složeni. Na rad uređaja za pročišćavanje otpadnih voda utječe cijeli niz faktora koje je vrlo teško kontinuirano i u cijelosti pratiti. U okviru ovog rada je promatran proces taloženja u već izgrađenim taložnicama s ciljem povećanja njihove učinkovitosti.

Na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda grada Bjelovara povremeno se javljala povećana mutnoća vode koja izlazi iz uređaja. Cilj istraživanja bilo je iznalaženje uzroka toj pojavi i njeno otklanjanje. U sklopu istraživanja provedeno je niz mjerenja i pokusa na uređaju, koji će djelomično biti opisani u ovom radu.

2. Hidrauličke karakteristike idealnog taloženja

Taloženje je purifikacijski proces gravitacijskog izdvajanja suspendiranih čestica iz vode¹⁾.

Iako su osnovne jednadžbe taloženja općeprihvaćene, zbog niza čimbenika koji utječu na rad taložnica njihovo hidrauličko dimenzioniranje provodi se na osnovi krajnje pojednostavljenih postupaka. Uobičajen pristup pri analiziranju taloženja pretpostavlja taloženje izdvojenih čestica u mirnoj vodi¹⁾²⁾.

Ako je gustoća suspendiranih čestica veća od gustoće vode, proces taloženja odvija se pod utjecajem gravitacije. Sila gravitacije koja djeluje na česticu i uzrokuje taloženje može se opisati izrazom:

$$F_g = (\rho_c - \rho) g V \quad (1)$$

pri čemu je:

ρ_c	gustoća čestice	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
ρ	gustoća vode	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
g	ubrzanje gravitacije	$[\text{m}/\text{s}^2]$
V	volumen čestice	$[\text{m}^3]$

Usvojit će se da je čestica okrugla. Prilikom taloženja javlja se sila otpora koja se može opisati izrazom:

$$F_v = C_o A \rho \frac{u^2}{2} \quad (2)$$

pri čemu je

c_o	koeficijent otpora oblika	$[1]$
u	brzina taloženja čestice	$[\text{m}/\text{s}]$
A	površina poprečnog presjeka čestice okomito na tok strujanja	$[\text{m}^2]$

Izjednačavanjem sila $F_g = F_v$, te uvrštavanjem vrijednosti za volumen čestice (V) i površinu poprečnog presjeka čestice okomito na tok (A), dobiva se brzina taloženja:

$$u = \sqrt{\frac{4}{3c_o} \frac{\rho_c - \rho}{\rho} g D} \quad (3)$$

pri čemu je

D	promjer čestice koja se taloži	$[\text{m}]$
-----	--------------------------------	--------------

Koeficijent otpora oblika c_o ovisi o vrijednosti Reynoldsovog broja

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (4)$$

pri čemu je:

ν kinematski koeficijent viskoznosti [m²/s]

U slučaju laminarnog režima gibanja u taložnicama, tj. za vrijednosti $Re < 1$ i uz pretpostavku da su čestice oblika kugle, vrijedi Stokes-ova jednadžba brzine taloženja:

$$u = \frac{g(\rho_c - \rho)D^2}{18\mu} \quad (5)$$

pri čemu je:

μ dinamički koeficijent viskoznosti [kg/ms]

Analizirajući jednadžbe 3 i 5 može se zaključiti da taloženje ovisi o:

- ubrzanju polja sile teže (g)
- viskoznosti tekućine (ν, μ)
- gustoći tekućine (ρ)
- gustoći čestice koje se talože (ρ_c)
- promjeru čestice (D)

Spomenuti parametri (osim gravitacije) promjenljivi su tijekom vremena i ovise o temperaturi, sadržaju otopljenih tvari, tlaku i drugom. Pregledom taložnica primijećena neravnomjerna raspodjela brzina, pojava vrtložnog strujanja i "kratkospojnog tečenja". Na osnovi toga je na početku istraživanja pretpostavljeno da je glavni uzrok pojavi povećane količine taloga u vodi, koja izlazi iz uređaja, bilo nezadovoljavanje uvjeta o laminarnom strujanju, što je osnovna pretpostavka za dobro taloženje. U okviru ovog rada uspoređivan je protok, temperatura vode, te količina suspendirane tvari u aeracijskim spremnicima i u taložnici.

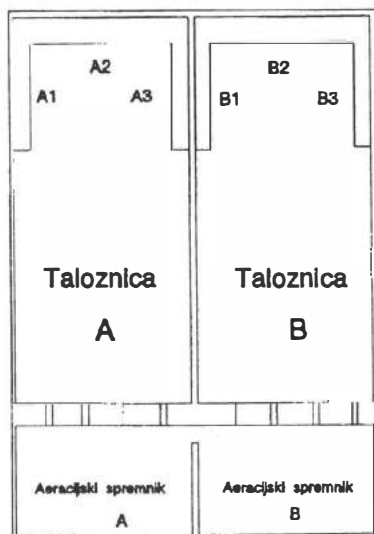
2. Opis taložnica

U procesu pročišćavanja otpadnih voda, u biološkom dijelu uređaja, nakon aeracije suspenzija se podvrgava procesu taloženja u kojem se iz suspenzije izdvaja aktivni mulj. Aktivni mulj se pomoću crpki vraća u aeracijske spremnike, a voda oslobođena taloga upušta se u vodotok. Skica položaja aeracijskih spremnika i propadajućih taložnica je prikazana na slici 1. Na slici su imenovane taložnice (A i B) i preljevi ("češljevi") koji su imenovani kao A1, A2 i A3 u taložnici A, i B1, B2 i B3 u taložnici B. Izgrađene taložnice su pravokutne, s horizontalnim tokom vode. Duž takve taložnice raspoznavamo ulaznu zonu u kojoj voda ulazi u taložnicu, zonu taloženja u kojoj se čestice izdvajaju iz suspenzije i padaju u zonu mulja, te izlaznu zonu u kojoj čista voda istječe iz taložnice.

Taložnice su ukupnog volumena $V = 1200 \text{ m}^3$. Prosječni protok kroz uređaj je $Q = 0.11 \text{ m}^3/\text{s}$. Vrijeme detencije se računa pomoću izraza:

$$T = \frac{V}{Q} = \frac{1200}{0,11} = 10909 \text{ s} \approx 3 \text{ [h]} \quad (6)$$

Prosječno vrijeme zadržavanja suspenzije u taložnici od 3 sata je uobičajeno vrijeme zadržavanja i dovoljno je za proces taloženja³).



Slika 1. Shema biološkog dijela uređaja za pročišćavanje s taložnicama.
Fig 1. Location of settling tanks

Da bi pravokutna taložnica s horizontalnim tokom ispravno funkcionirala, moraju biti ispunjeni sljedeći uvjeti:

- U ulaznoj zoni mora se formirati što ravnomjerniji dotok vode u zonu taloženja. U ovoj zoni mora se formirati jednoliko tečenje po cijelom poprečnom presjeku, koje se zahtijeva u zoni taloženja.
- Pravac toka vode u zoni taloženja treba posvuda biti horizontalan, a brzine u svim točkama proticajnog profila približno jednake. Raspored brzina po presjeku taložnice treba biti što jednoličniji.
- Poprečni presjek taložnica treba biti dovoljno velik tako da je i pri najvećem projektu predviđenom protoku tečenje laminarno.
- Svaki djelić vode treba provesti određeno vrijeme u zoni taloženja. Proces taloženja u za to predviđenoj zoni, ne smije biti ometan utjecajima iz ostale tri zone taložnice.
- Zona mulja treba primiti istaloženi mulj i štiti ga od utjecaja procesa koji se odvijaju u zoni taloženja. Mulj iz ove zone ne smije se vraćati u zonu taloženja.
- Izlazna zona treba pružati mogućnost ravnomjernog odvođenja vode koja dolazi iz zone taloženja.

U sekundarnim taložnicama uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Bjelovara nisu bili zadovoljeni uvjeti spomenuti pod a), b), d) i f), a djelomično niti uvjet opisan pod e).

2.1. Čimbenici koji reduciraju učinak taloženja

Laminarni režim strujanja je preduvjet za kvalitetno odvijanje procesa taloženja jer tada tekućina struji u lamelama i ne dolazi do miješanja između pojedinih slojeva. U laminarnom režimu se ne javljaju sile koje bi mogle držati čestice koje su teže od vode u lebdećem stanju.

Na promatranom uređaju se iz aeracijskih spremnika voda upušta u taložnice kroz četiri cijevi promjera 400 mm. Korišten način punjenja taložnica uzrokuje formiranje hidrauličkih mlazova koji su glavni uzrok vrtloženja u promatranim sekundarnim

taložnicama. Zbog vrtloženja vode suspendirane čestice ne dospiju se istaložiti, već se preko preljeva upuštaju u recipijent, što bitno smanjuje kvalitetu pročišćavanja otpadnih voda.

Poremećaji u distribuciji brzina u izvedenim taložnicama mogu nastati i uslijed utjecaja vjetra, razlike u gustoći dotoka, razlike u temperaturnim gradijentima ili uslijed varijacije mutnoće. Ove pojave su znatno manjeg utjecaja na učinak taloženja u promatranim taložnicama od utjecaja koncentriranog upuštanja.

3. Tijek istraživanja

3.1 Zatečeno stanje

Prije provedbe pokusa i uređenja taložnica napravljeno je niz mjerenja raspodjele brzina u taložnicama, protoka i količine taloga u vodi koja izlazi iz uređaja. Rezultati mjerenja u početnom stanju poslužili su za izradu pokazatelja uspješnosti provedenih zahvata.

Iako je projektom predviđeno da su obadvije taložnice jednake i s istim protokom, mjerenja su pokazala da je kroz taložnicu B protok skoro dvostruko veći od protoka kroz taložnicu A.

Na izlazu iz taložnice ugrađeni su preljevi u obliku "češljeva" izrađeni od čelične trake na kojoj je izrezano 170 Thomsonovih- preljeva. Zbog loše ugrađenih "češljeva" dolazi do istjecanja vode mimo preljeva, kao i do neravnomjernog prelijevanja preko njih.

Prilikom uzimanja uzoraka iz aeracijskih spremnika, uočena je povećana količina mulja u spremniku A. Ova pojava je posljedica hidraulički neispravno izvedenog cjevovoda za povrat aktivnog mulja iz taložnica u aeracijske spremnike.

Kao što je na početku navedeno, taloženje ovisi o nekoliko parametara. Kao glavni pokazatelji rada taložnice razmatrat će se protok kroz uređaj, taloženje u aeracijskim spremnicima i taloženje na izlazu iz uređaja.

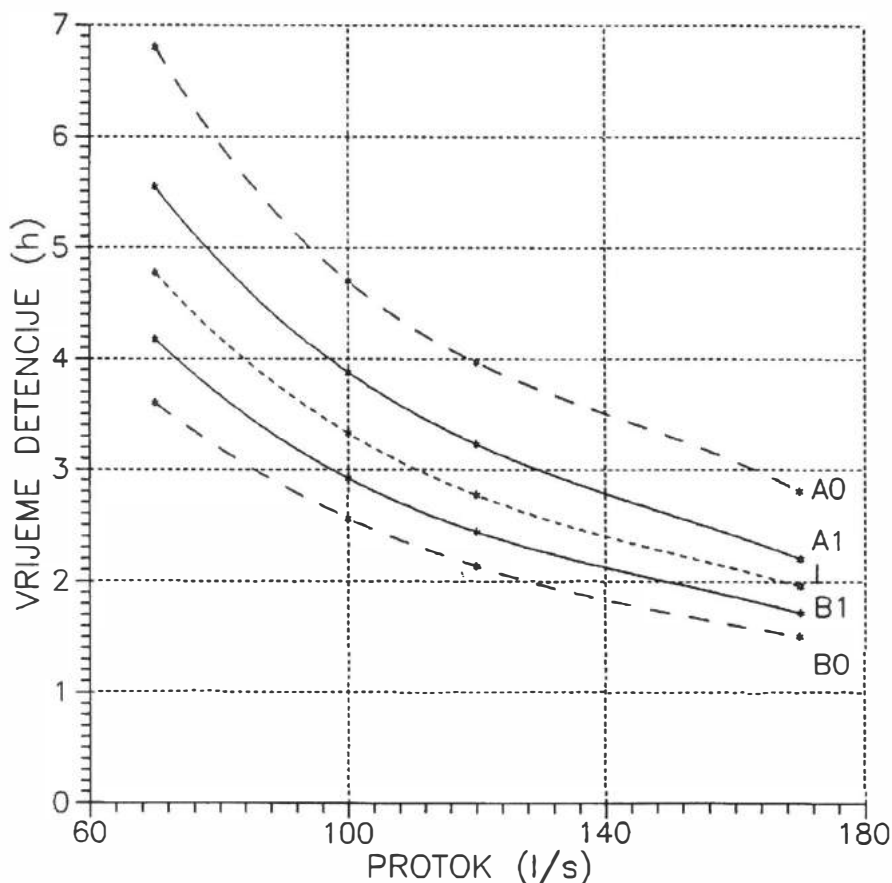
3.2 Korekcija jednog preljevnog polja

Da bi se smanjila razlika u protocima kroz taložnicu A i B te ujednačio protok u taložnici A, pristupilo se korekciji položaja preljeva. Pri tome je provedena korekcija samo na jednom preljevnom polju taložnice "A" i to na polju A3.

Nakon korekcije položaja preljeva ponovljen je postupak određivanja protoka kroz taložnice, kao i mjerenje taloženja u vodi koja izlazi iz uređaja.

Za proces taloženja je od dominantnog značaja vrijeme koje suspenzija provede u taložnici (vrijeme detencije). Obično se vrijeme detencije pojedinih čestica računa na temelju podataka o izgrađenom volumenu taložnice i protoku. Takav račun vrijedi za idealne taložnice. Na izvedenom uređaju nije postignut identičan protok kroz obadvije taložnice, tako da se vremena detencije između taložnice A i B bitno razlikuje, što je prikazano na slici 2. Crtkane krivulje A_0 i B_0 prikazuju ovisnost vremena detencije u taložnicama A i B od protoka u prvobitnom - izgrađenom stanju. Uočljivo je da je vrijeme detencije u taložnici A znatno veće od vremena detencije u taložnici B. To je bio jedan od glavnih uzroka povećanog iznošenja mulja iz taložnice B. Nakon korekcije položaja preljeva A3 došlo je do ujednačavanja protoka i vremena detencije što je prikazano punim linijama A_1 i B_1 . Da bi se postiglo bolje taloženje, potrebno je da se obadvije krivulje A i B podudaraju sa idealnom krivuljom označenom sa I na slici 2.

Rezultati mjerenja prikazani su u tabeli 1 i 2. Iz tabele 1 može se očitati da je provedeni zahvat smanjio razlike u protokama kroz taložnice. Ovo ujednačavanje



Slika 2. Ovisnost vremena detencije o protoku

Fig 2. Detention time in dependance of flow rate

protoka uzrokovalo je ujednačavanje vremena detencije i smanjenje taloga u vodi koja izlazi iz uređaja, što se može očitati iz tabele 2.

3.3 Umiren dotok

U svaku taložnicu voda utječe kroz četiri cijevi promjera 400 mm. Da bi se smanjio utjecaj vrtloženja u taložnici nastalog uslijed koncentriranog upuštanja vode i velike inercije dolaznog tōka, odlučeno je da se ugrade umirivači u taložnicu B. Osnovni cilj umirivača je raspršivanje hidrauličkih mlazova koji ulaze u taložnicu.

Nakon postavljanja umirivača ponovo su provedena mjerenja na taložnicama. Rezultati mjerenja su pokazali daljnje smanjenje mulja u vodi koja izlazi iz uređaja.

3.4 Uređenje taložnice

U jesen 1992. god. proveden je redovni godišnji pregled uređaja uz popravke i zamjenu neispravnih dijelova te detaljno čišćenje uređaja. To je iskorišteno za djelomičnu preinaku taložnica. Pri tome je korigiran položaj svih preljevni polja te su ugrađeni primarni umirivači u ulaznoj zoni taložnice.

4. Rezultat istraživanja

Iz rezultata provedenih mjerenja vidljivo je da je korekcija položaja preljeva uspostavila ravnomjerniju raspodjelu protoka kroz taložnice. U zatečenom stanju je omjer protoka kroz taložnice A i B bio 35/65, nakon korekcije jednog preljevnog polja na taložnici A omjer protoka je smanjen na 43/57, a nakon korekcije svih "češljeva" je izmjeren omjer protoka 53/47.

Tabela 1. Parametri protoka nakon uređenja taložnice

Table 1. Flow rate through settling tanks before and after reconstruction

Taložnica	Nulto stanje			Korekcija jednog polja			Korekcija svih polja		
	A	B	A+B	A	B	A+B	A	B	A+B
Protok (l/s)	44.9	82.4	127.3	47.5	62.0	109.5	52.9	47.1	100
Protok (%)	35.3	64.7	100	43.4	56.6	100	52.9	47.1	100

Postignuto ujednačavanje protoke kroz obadvije taložnice ima za posljedicu ujednačenije vrijeme detencije, što pogoduje procesu taloženja.

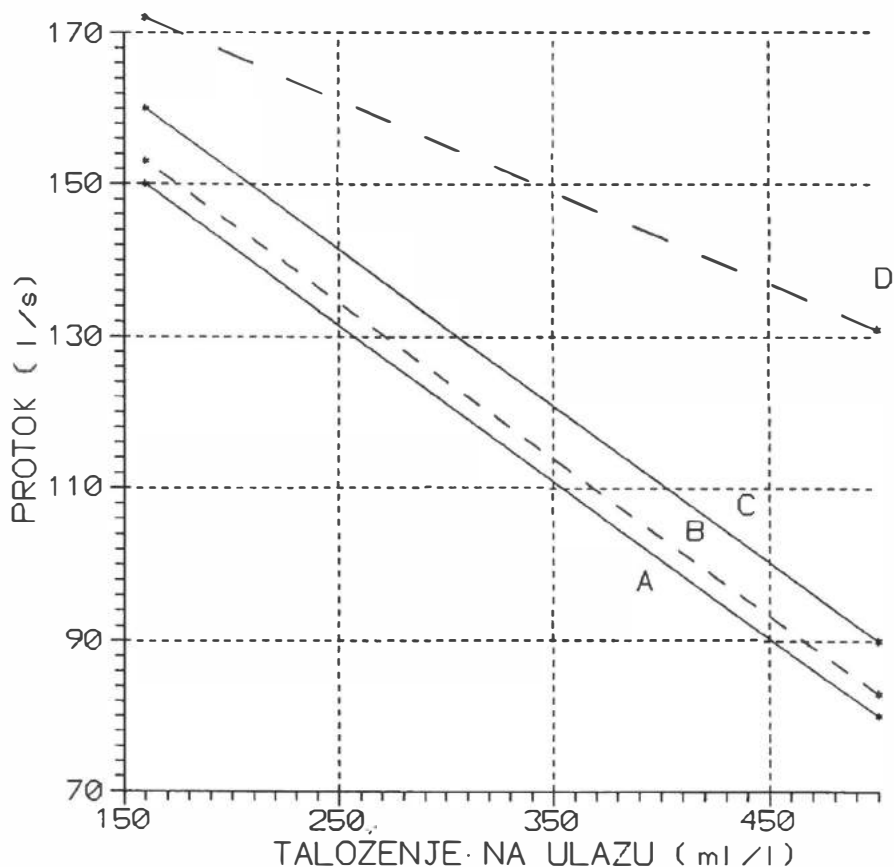
Nakon ugradnje umirivača je uz povećavanje količine aktivnog mulja u vodi koja ulazi u taložnicu, količina taloga u vodi koja iz nje izlazi znatno smanjena (tabela 2). Drugi mjereni pokazatelji (osim temperature) pritom su ostali istog reda veličine.

Tabela 2. Usporedba srednjih vrijednosti promatranih parametara

Table 2. Comparison of mean values of measured parameters

Parametar	Mjerna jedinica	Zatečeno stanje	Korekcija preljeva	Umiren dotok	Uređena taložnica
Protok	(l/s)	109.5	106.4	108.6	104.3
Temperatura vode u taložnici A	(°C)	15.8		17.5	10.1
Temperatura vode u taložnici B	(°C)	15.7		17.6	10.1
Taloženje u aeraciji A	(ml/l)	257.	265.	293.	307.
Taloženje u aeraciji B	(ml/l)	222.	257.	289.	271.
Taloženje na izlasku iz taložnice A	(ml/l)	0.6	0.5	0.5	0.1
Taloženje na izlasku iz taložnice B	(ml/l)	19.2	5.9	10.7	0.1

Mjerenja su pokazala da je nakon uređenja taložnica moguće znatno povećanje količine aktivnog mulja u aeracijskom spremniku, bez pojave isplivanja taloga na izlazu iz taložnice.



Slika 3 Odnos protoka i taloženja uz uvjet da nema taloženja na izlazu; A - zatečeno stanje, B - korigirani preljevi, C - umiren tok, D - uređena taložnica
Fig 3. Performance curves for settling tanks; A - initial, B - after correction of weir, C - after canceling hydraulic jets, D - after reconstruction

Dijagram na slici 3 napravljen je za sagledavanje najveće dopuštene količine aktivnog mulja u spremnicima za aeraciju (mjereno preko taloženja), u ovisnosti od protoka kroz uređaj uz zadovoljavanje uvjeta minimalnog taloženja u vodi koja izlazi.

Kao kriterij dobrog rada taložnice usvojena je najveća dopuštena vrijednost taloženja u vodi koja izlazi iz uređaja od 5 ml/l. Na temelju rezultata provedenih mjerenja povučen je pravac koji definira odnos protoka i količine taloga u vodi koja ulazi u taložnicu uz uvjet da voda koja izlazi iz taložnice nema više od 5 ml/l taloga. Valja napomenuti da je usvojeni linearni odnos u mjerenom intervalu samo aproksimacija. Za prikazivanje karakteristike taložnice vjerojatno bi bilo prikladnije koristiti hiperbolu, jer je pri protoku 0 l/s najveća količina mulja bila ∞ , i obrnuto. Da bi se točnije odredio ovaj odnos potrebno je provesti znatno veći broj mjerenja.

Na dijagramu, prikazanom na slici 3, prikazana su četiri pravca koja karakteriziraju ispitivana stanja rada taložnice. Pravac označen s *A* predstavlja karakteristiku taložnica u zatečenom stanju. Pravac označen s *B* predstavlja karakteristiku rada taložnica nakon korekcije preljeva A3. Uočljivo je da je ujednačavanje protoka između taložnice *A* i *B* uzrokovalo smanjivanje taloga u vodi koja izlazi iz uređaja. Ugradnja umirivača je također smanjila količinu taloga koji izlazi iz taložnice (pri istom protoku), što je prikazano pravcem *C*. Pravac *D* prikazuje karakteristiku taložnice nakon uređenja svih preljeva i ulazne zone.

Prilikom procjene odnosa protoke kroz taložnicu i taloženja u aeracijskom spremniku, uz uvjet da ne dolazi do iznošenja mulja (slika 3), također se uočava značajno poboljšanje u radu taložnice postignuto provedenim istraživanjem.

5. Zaključak

Jedan od osnovnih problema u radu uređaja za pročišćavanje otpadnih voda je promjenjivost kvalitete i kvantitete vode koja dolazi na uređaj. Projektiranje uređaja za pročišćavanje otpadnih voda stoga se često zasniva na rezultatima rada probnih (pilot) uređaja. Tako je i u sklopu opisanog istraživanja provedeno nekoliko preinaka u taložnici. Na temelju rezultata spomenutih istraživanja projektirano je uređenje taložnice.

Prilikom praćenja rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Bjelovara, pokazala se povećana količina taloga u vodi koja izlazi iz uređaja. Ova pojava je posljedica nekoliko propusta učinjenih prilikom projektiranja i izvođenja taložnica.

U okviru ovog rada je istraživani proces taloženja u već izgrađenim taložnicama s ciljem da se poveća efikasnost postojećih taložnica.

Izmjena položaja ugrađenih preljeva, kao i ugradnja umirivača u ulaznoj zoni, znatno su smanjili količinu taloga u vodi koja se ispušta iz uređaja.

Prikazani rezultati pokazuju da su učinci od hidrauličkog saniranja taložnica značajni.

Provedeni zahvati omogućili su da se i uz povećanje količine aktivnog mulja u aeracijskim spremnicima znatno smanji količina taloga koji s vodom izlazi iz uređaja.

U radu je prikazan dijagram ovisnosti količine vode koja ulazi u taložnicu i količine taloga u njoj, uz zadovoljavanje uvjeta da na izlazu iz taložnice nema povećanog iznošenja mulja. Ovakav dijagram može poslužiti za opisivanje učinkovitosti taložnice, kao i prilikom upravljanja uređajem.

Prilikom procjene odnosa protoke i taloženja u aeracijskom spremniku, uz uvjet da ne dolazi do iznošenja mulja, također se uočava značajno poboljšanje u radu taložnice postignuto provedenim istraživanjem.

Prikazani rezultati pokazuju da se uz mala uložena sredstva može postići značajno poboljšanje rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

Zahvala:

Zahvaljujem se kolegama iz "Komunalnog poduzeća - Bjelovar" koji su omogućili ovo istraživanje.

Literature

- 1) Vuković, Ž., Tehnologija taloženja u horizontalnim taložnicama, Magistarski rad, Zagreb, 1983.
- 2) Petrešin, E., Vodovod II, Poslovna politika, Zemun, str.1307.-1325.
- 3) Fair, G.M., Geyer, J.C., Water supply and waste-water disposal, John Wiley & Sons, New York, 1954.

Stručni radovi

- 4) Istraživački radovi na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda grada Bjelovara, GI OOUR Fakultet građevinskih znanosti - Zagreb, Zavod za hidrotehniku, Zagreb, 1988.
- 5) Studija saniranja sekundarnih taložnica uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Bjelovara, Hydroexpert, Zagreb, 1992.

Tema 8.
KOMPLEKSNA ISTRAŽIVANJA
POPLAVA U HRVATSKOJ



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Borivoj Čapka, Milan Sijerković

R 8-01

Procjena i upravljanje rizicima od prirodnih katastrofa

SAŽETAK: *Upravljanje je rizicima metodologija koja osigurava okvir za logički pristup mjerama za smanjenje opasnosti od prirodnih katastrofa. Sastoji se od niza akcija od kojih je svaka dobro definirana i bazirana na tradicionalnim inženjerskim i provedbenim iskustvima. U ovome radu ciklus je tih faza ilustrativno prikazan na problemu obrane od poplava.*

KLJUČNE RIJEČI: *prirodne katastrofe, poplave, upravljanje rizicima, procjena rizika, pripravnost, zaštita.*

ABSTRACT: *Risk management is a methodology, which provides a framework for a logical approach to disaster management. It is presented as a chain of action, each one well defined and based on traditional engineering and management practice. The links of the chain are described through the concepts of risk analysis. They are illustrated by references to flood.*

KEY WORDS: *natural disasters, floods, risk management, risk assessment, preparedness, protection.*

1. Uvod

Prirodne katastrofe neprestano pogadaju svijet i urokuju ljudske žrtve i goleme materijalne štete. Statistička istraživanja (WMO/TD-No. 598, 1994) očituju činjenicu da tijekom jednoga desetljeća prirodne katastrofe usmrte oko milijun osoba i uzrokuju štetu od stotinjak milijardi USD godišnje. Prema najnovijim statistikama (IDNDR, 1994), u 30-godišnjem razdoblju 1963-1992. u svijetu je bilo ukupno 5.200 prirodnih katastrofa, što znači da su se dogodale prosječno svaki drugi dan. Od prirodnih katastrofa koje su uzrokovale najveće materijalne štete najčešće su bile poplave (32%), a zatim slijede tropski cikloni (30%) i suše (22%). Te tri vrste prirodnih katastrofa nalaze se i na vrhu ljestvice onih katastrofa koje su utjecale na velik dio pučanstva. Poplave su, s 26%, najčešće prirodne katastrofe među onima koje usmrćuju velik broj ljudi. Upozoravajuća je činjenica da se u naznačenom razdoblju broj prirodnih katastrofa povećavao, a povećavali su se i materijalni gubici zbog njihova utjecaja. U proteklom desetljeću bili su trostruko veći nego u 60-tim godinama

mr. Borivoj Čapka, dipl. ing. fizike, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb
mr. Milan Sijerković, dipl. ing. fizike, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb

U Hrvatskoj, u 14-godišnjem razdoblju 1980-1993 (Sijerković, Čapka, 1994), prirodne katastrofe uzrokovale su prosječnu godišnju štetu od 300 milijuna USD. Prema iznosu ukupnih počinjenih šteta, na vrhu ljestvice je suša (42%), a zatim slijede oluje s tučom, potresi, mraz, poplave itd. Najštetnija i najpogibelnija prirodna katastrofa u ovome stoljeću bila je poplava Save u Zagrebu 26. listopada 1964. Usmrtila je 17 osoba i uzrokovala materijalnu štetu koja je procijenjena na 10% ondašnjeg ukupnoga godišnjeg nacionalnog dohotka Hrvatske.

Iskustvo je očitivalo činjenicu da dobro organiziran sustav zaštite od prirodnih katastrofa može spasiti brojne ljudske živote i smanjiti materijalne štete. Vrlo važan dio toga sustava jesu upozorenja koja se zasnivaju na prognozama prirodnih događaja koji mogu uzrokovati katastrofe. Istraživanja u Kanadi, Japanu, Velikoj Britaniji i Sjedinjenim Državama (WMO-No. 722, 1989) očitivala su činjenice da prognoze poplava i na njima zasnovana upozorenja mogu smanjiti štete od 6% do 40%, pri čemu je najčešće smanjivanje štete 10% do 15%. A to je više nego dovoljno za ekonomsku opravdanost toga sustava. Procijenjeno je, primjerice, da smanjivanje šteta od poplava za oko 10% donosi Indiji godišnju uštedu od 250 milijuna USD. Takve spoznaje potaknule su Organizaciju Ujedinjenih Naroda (WMO-No. 722, 1989; WMO-No. 799, 1994) na donošenje rezolucije o uspostavljanju Međunarodnog desetljeća za smanjivanje prirodnih katastrofa (IDNDR - International Decade for Natural Disaster Reduction) u razdoblju 1990-2000. Na Svjetskoj konferenciji o smanjivanju prirodnih katastrofa, održanoj u Yokohami, Japan, u svibnju 1994. (UN-WMO-UNESCO, 1994; IDNDR, 1994; UNCRD, 1994) analizirani su dosadašnji rezultati ostvarivanja zadaća IDNDR-a i naznačene su daljnje smjernice provedbe toga velikog svjetskoga pothvata.

Dosadašnja iskustva u provedbi IDNDR-a očitivala su činjenicu da zaštitu od prirodnih katastrofa treba ukomponirati u strateške planove za siguran i održiv razvoj društvene zajednice. Pokazalo se također da ostvarivanje zaštite zadire u brojne životne interese društva. Provedba je zaštite stoga vrlo složena zadaća koja zahtijeva specifične aktivnosti koje su nazvane "upravljanje rizicima" (WMO/TD-No. 591, 1994). Upravljanje rizicima zatvoren je ciklus aktivnosti koji počinje analizom rizika i planiranjem pripravnosti prije, te mjerama ublažavanja i obnove nakon ekstremnoga događaja. Dvije prve aktivnosti definiraju mjere zaštite, a druge dvije aktivnosti mjere za povratak društva u predkrizno stanje.

Ovaj je rad namijenjen razmatranju osnovnih postavki toga segmenta zaštite od prirodnih katastrofa, što će morati uzeti u obzir i Nacionalni komitet Republike Hrvatske za IDNDR-UN, koji treba poticati i koordinirati sve aktivnosti u Hrvatskoj glede smanjivanja prirodnih katastrofa.

2. Upravljanje rizicima

Proces upravljanja rizicima može se konceptualno prikazati kao zatvoren ciklus logičnoga slijeda akcija koje se moraju poduzimati za zaštitu od prirodnih katastrofa (slika 1). Temelje se na tradicionalnim inženjerskim pristupima koji su rezultat studija sigurnosti za visokorizične objekte, kao npr. nuklearne elektrane ili velika kemijska postrojenja, čije havarije mogu izazvati katastrofalne posljedice. Svijest o mogućem stradanju velikoga broja pučanstva u slučaju takvih havarija rezultirala je razvojem znanstvenih metoda za analizu svih mogućih rizika i s njima povezanih mjera sigurnosti. Ista se metodologija može primijeniti i na analizu potencijalnih prirodnih opasnosti i sigurnosti postojećih objekata, kao npr. zgrada prilikom potresa ili brana prilikom poplava. Meteorološke i hidrološke informacije važne su ulazne veličine za sve tri početne akcije sustava zaštite od prirodnih katastrofa. Njihova važnost proizlazi iz diskusija koje slijede.



Slika 1. Ciklus provođenja mjera zaštite
 Figure 1. The disaster management cycle

2.1. Procjena rizika/smanjenje utjecaja

Prvi je korak u lancu upravljanja rizicima procjena rizika. To je postupak koji prvo utvrđuje događaje koji mogu prouzročiti prirodnu katastrofu, kao npr. ekstremno jak vjetar ili poplavu. Drugo, utvrđuje vjerojatnost da se događaj zamijeti u nekom vremenskom intervalu. Treće, procjenjuju se posljedice koje taj događaj može prouzročiti. Četvrti dio procjene rizika je njegovo predstavljanje u korisnom obliku, npr. pomoću karata ili tablica. Uobičajeno je da se događaj opisuje pomoću njegove jačine U , koja rijetko kad premašuje neku kritičnu vrijednost U_{krit} . Prosječno vrijeme između takva dva ekstremna slučaja naziva se povratni period TU_{krit} , a veličina $1/TU_{krit}$ čestina prekoračenja. Usko je povezana s tom čestinom opasnost izražena vjerojatnošću P_E , koja je definirana kao vjerojatnost da će događaj U_{krit} biti premašen jednom u određenom broju godina T_U . U tom smislu, inženjeri primjerice koriste izraz "100-godišnja poplava" da naznače da se takva poplava može očekivati prosječno jednom u 100 godina.

U praksi se rezultati utvrđene opasnosti predočavaju vjerojatnošću prekoračenja nekog ekstremnoga događaja U_{krit} kao funkcije lokacije, ili uvjetno, pokazuju vrijednosti od U za koje je dana opasnost konstantna. Tako, primjerice, karte opasnosti od poplava pokazuju koja će područja biti poplavljena ako se dogodi poplava veličine U_{krit} , katkad i s dubinom vode kao trećom varijablom, kako bi se bolje procijenila ugroženost ljudi i dobara. U sofisticiranijim analizama osigurani su nizovi karata koje identificiraju kritične zone s konstantnom opasnosti od prirodnoga događaja. Takve karte pružaju mogućnost prosudbe planerima i drugim korisnicima o stupnju potencijalne opasnosti i uvažavanja istih u strateškim planovima razvoja. Korist od takvih karata je nedvojben, te Znanstveni i tehnički komitet IDNDR-UN s pravom daje visok prioritet njihovoj izradi i sugerira da sve zemlje do kraja dekade načine takve karte za događaje koji se javljaju u njihovim zemljama.

Sljedeći je korak procjene rizika analiza posljedica. Stogodišnja poplava na riječi nije isto što i takva poplava na velikoj rijeci. Međutim, štete od poplava ne moraju biti u

korelaciji s veličinom rijeke, već ovise o utjecaju takvih poplava na imovinu i zdravlje ugroženih ljudi. Analiza posljedica podrazumijeva da se za svaku točku na ugroženom području utvrde moguće posljedice. To uključuje utvrđivanje broja stanovnika na tom području i procjenu što im se može dogoditi u slučaju ekstremne pojave: moguće štete na građevinama, poljoprivrednim kulturama, infrastrukturi. Osobe i imovina koji su izloženi opasnostima nazivaju se elementima rizika, a stupanj je njihove izloženosti ekstremnom događaju "osjetljivost" koja se obično određuje na skali od 0 (nema štete) do 1 (potpuna šteta). Broj elemenata rizika određuje posljedice. U nekim slučajevima moguće je kvantificirati posljedice pomoću funkcije posljedica $K(u)$, u kojoj argument U ukazuje da posljedice značajno ovise o veličini događaja. Funkcija $K(u)$ može biti izražena financijskim pokazateljima, kao što su procjene otklanjanja šteta, što rade osiguravajuća društva. Međutim, kvantificiranje troškovima samo je jedan način opisivanja funkcije $K(u)$. Ona se također može izraziti omjerom ugroženog i ukupnoga broja stanovnika na koje će događaj djelovati, bilo na njihovo zdravlje ili čak na gubitak života. Formalni načini izračunavanja lokalnoga rizika pokazuju da je njegov najjednostavniji izraz dan produktom P_E i $K(u)$, uz pretpostavku da su posljedice ovisne o jačini događaja sve dok premašuje neki kritični prag U_{krit} . Funkcija posljedica ovisi o prethodno poduzetim mjerama za smanjenje rizika, kao što je to izgradnja otpornijih objekata ili organiziranje djelotvornih sustava upozoravanja.

Iskustvo pokazuje da je analiza posljedica puna neizvjesnosti. Teško je procijeniti štete koje se još nisu dogodile, a naročito je teško vrednovati moguća oštećenja na infrastrukturi koja se tek planira u prostornim planovima, budući da je i sama procjena očekivane rastuće urbanizacije glavna i obično najveća nepoznanica. Upravo su te nepoznanice razlog što se prilikom planiranja i projektiranja uvažavaju faktori sigurnosti. Norme sigurnosti obično se baziraju na vjerojatnostima prekoračenja, a njihove gornje granice obično se određuju prema mogućnostima društva koje ih koristi.

2.2. Vrednovanje rizika/pripravnost

Sljedeći je korak u lancu upravljanja rizicima vrednovanje rizika. U njemu se nastoji utvrditi prihvatljiv rizik i razvoj mogućih mjera ublažavanja katastrofa. Time se stvara osnova za odlučivanje u kriznim situacijama. Nasuprot opasnostima koje proističu iz ljudskih aktivnosti (tehnološke katastrofe), prirodnim katastrofama ne možemo upravljati. Ljudi koji žive na području izloženu katastrofama nemaju drugoga izbora nego živjeti s opasnošću. Međutim, oni ne moraju prihvatiti katastrofu kao sudbinsko određenje i samo se uzdati u to da se ona neće dogoditi. Oni moraju biti svjesni činjenice da opasnost postoji, ali i mogućnosti da se ona izbjegne, odnosno da se smanje njezine nepovoljne posljedice.

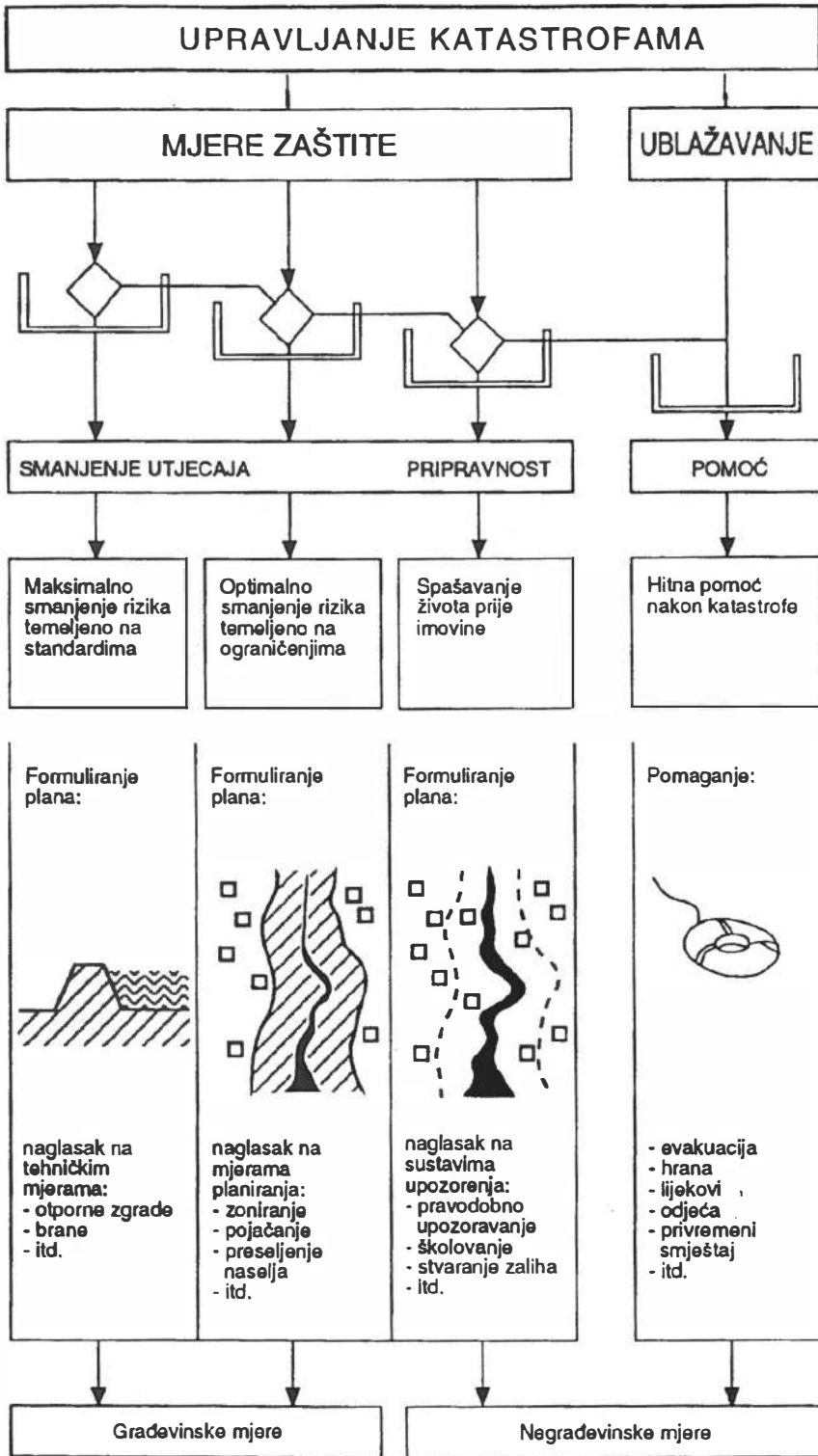
Prihvatljiv rizik u inženjerskom smislu broj je koji ima istu dimenziju kao i rizik izračunat za opasnost koja se istražuje. Primjerice, ako je izračunat rizik od prirodnih katastrofa izražen kao iznos očekivanih gubitaka u novcu, tada se i prihvatljiv rizik izražava u novcu. Poteškoća inženjerskoga pristupa bazirana na usporedbi rizika u problemu je nalaženja podesnog standarda - što je dopustiv rizik? Ako on nije određen a priori, a praktično nikad nije, tada se prihvatljiv rizik mora odrediti u danome trenutku kriznog stanja, u kojem se odlučuje između mogućih opcija mjera zaštite. U svakom slučaju, prihvatljiv rizik mora uvijek nastojati uravnotežiti sigurnost i ekonomičnost.

Međutim, ono što je prihvatljiv rizik s inženjerskog gledišta ne mora biti i glede javnoga mnijenja. Za većinu ljudi prihvatljiv rizik nije neophodno numerička veličina, baš kao što i rizik iz procesa procjene rizika ne mora biti broj. Suvremena koncepcija upravljanja krizama razlikuje objektivni i subjektivni rizik. Objektivni rizik je onaj

koji je kvantificiran u procesu upravljanja rizikom, dok je subjektivni rizik onaj koji su ljudi iskustveno uočili da postoji. Obično se rizik koji osoba prihvaća svojevolumno, vlastitim izborom (kao rizik smrti od raka zbog pušenja, ili rizik slučajne smrti u vožnji automobilom) čini mnogo manjim od realnoga. Istodobno, rizici nametnuti izvana subjektivno se prihvaćaju kao mnogo veći nego što objektivno jesu. Obično se očituje da su ljudi skloniji prihvatiti velike rizike ako oni sami o njima odlučuju, dok ne toleriraju nametnute manje rizike, kao što su nametnuti rizici u svezi s visokim ustavama, kemijskim postrojenjima ili nuklearnim elektranama. Taj problem igra manju ulogu u upravljanju katastrofama, ali se redovito pojavljuje u javnosti kod objelodanjivanja namjera o izgradnji nekih visokorizičnih objekata.

Posljednji je postupak u vrednovanju rizika utvrđivanje različitih alternativa za moguće ublažavanje i pružanje pomoći. Pristupi ublažavanju katastrofa mogu biti vrlo različiti. Obično su dostupne mnoge opcije za postizanje istog učinka. Sustavan sažetak takvih opcija za slučaj zaštite od poplava prikazuje slika 2 (UNDR0, 1991). Međutim, obično nije moguće u potpunosti odijeliti aktivnosti za pomoć i ublažavanje od drugih planova i interesa. Korištenje različitih alternativa, od kojih svaka može biti podjednako korisna u zaštiti od poplava, obično je jako ograničeno s jednim ili više zahtjeva drugih korisnika, a često dovodi i do sukoba interesa. Primjerice, uobičajen je pristup za ublažavanje katastrofa od poplava izravnavanje riječnih korita i izgradnja nasipa. Na taj se način brzina toka rijeke povećava i, kao rezultat, vodni valovi se nizvodno kreću mnogo brže. Istodobno, nasipi ograničavaju mogućnost poplave. Te mjere drastično smanjuju rizik poplavlivanja i očitovale su se izvanredno dobrima, jer ujedno dopuštaju intenzivno korištenje zemljišta za poljodjelstvo, koje bi bez toga bilo prečesto poplavljivo, što bi onemogućavalo profitabilnu proizvodnju. Nadalje, takve su metode korisne i s gledišta osposobljavanja rijeka za plovidbu velikih brodova. Ostvarene prednosti uglavnom nadvladavaju nedostatke, kao što je povećavanje erozije korita rijeke, a time i snižavanje vodotoka i podzemnih voda. S gledišta kontrole poplava, najveći je nedostatak ovoga tipa reguliranja da nekadašnja poplavljiva područja nisu više dostupna za odvođenje poplavnih voda koje su prije otjecale u njih i tamo ostajale, umjesto da uzrokuju štete nizvodno. Zorni su primjer toga katastrofalne poplave u Njemačkoj i Nizozemskoj početkom 1995. U postupku osiguravanja od plavljenja, duž Rajne, između Basela i Mannheima, izgrađeni su nasipi koji su dimenzionirani tako da zadržavaju i vode koje se zamjećuju s 200-godišnjim povratnim periodom. Time se, međutim, ekstremne vodene mase prenose nizvodno i uzrokuju velike poplave u gradovima poput Bona i Koblenza, i dalje nizvodno u Nizozemskoj. Potaknuti i prijašnjim velikim poplavama (prije toga su se dogodile u prosincu 1993), planeri vodnih potencijala u Baden-Wurttembergu nastoje preinačiti takve događaje. Tzv. "Integrirani program Rajne" pokrenut je sa svrhom da se između ostalih ciljeva, koje određuju ekološki i prirodni aspekti, kao i razvoj vodnih potencijala, ponovno koriste negdašnja plavljena zemljišta kao odteretna područja, čime se mogu ublažiti takve katastrofe.

Velik problem svih koncepata obrane od poplava u tome je da visoke vode katkad mogu biti i više od onih za koje su izgrađeni zaštitni sustavi. Kad se to dogodi, tada su štete mnogo veće nego što bi bile da nema nasipa. To ukazuje na filozofski problem koji je uvijek povezan s kontrolom poplave. Očigledno, najjednostavnije je rješenje problema obrane od poplava utvrditi poplavna područja za najveću moguću poplavu i na ugroženom području odustati od svih ljudskih aktivnosti. To se rješenje deklarira kao optimalno smanjenje rizika, bazirano na ograničenjima sa slike 2, i najviše ga podržavaju znanstvenici skloni zaštiti okoliša. Međutim, kao što su to već otkrili stari Egipćani, narodi Mezopotamije i Kinezi, poplavne ravnice najprikladnija su zemljišta



Slika 2. Mjere zaštite i pomoći od poplava
 Figure 2. Risk reduction measures: from UNDR0, 1991

za poljodjelsku obradu, jer su ravna i stoga relativno laka za poljoprivredno iskorištavanje. Poslije se očitovalo da gradovi smješteni na velikim rijekama uživaju prednosti riječnoga prometa, te da se vodoopskrba za veliku populaciju ili industriju može najbolje osigurati direktno s vodom iz rijeke. Posljedica takvih spoznaja bila je da su ljudi radije odabrali življenje uz rijeke i borbu s poplavama nego da ostanu zaštićeni izvan poplavnih ravnica. Tako dugo dok su argumenti za nastanjivanje u poplavnim ravnicama jači nego razlozi protiv toga, ljudi će živjeti s poplavama. Za njihovo ublažavanje moraju se primjenjivati skupa tehnička rješenja i mora se razviti sustav pravodobnoga upozoravanja, poglavito radi zaštite ljudskih života, dok je zaštita imovine sporedan cilj.

Opcije pripravnosti i planova spašavanja baziraju se na sustavima upozoravanja. Planovi spašavanja uključuju putove evakuacije, opskrbu hranom i lijekovima, osiguravanje privremenoga smještaja i sl. Predupozorenje je od posebne važnosti za sve vrste opasnosti. Ako je moguće prethodno upozoriti ljude na prirodni događaj koji prijete, oni mogu spasiti svoje živote odlaskom iz ugroženoga područja. Što se prije obznani upozorenje, to će ono biti djelotvornije. Učinkovitost upozorenja uvelike ovisi o raspoloživim metodama prognoze opasnoga događaja, ali i o kakvoći komuniciranja između pojedinih dijelova sustava zaštite, kao i s ugroženim pučanstvom. Učinak upozorenja ovisi i o spremnosti stanovništva da ih ispravno prihvaća i reagira na njih. S obzirom na to, mora postojati određena izobrazba pučanstva, uz prijeko potrebne naputke. Ako sve to nije učinjeno, može se dogoditi da reakcija stanovništva bude "nedovoljna" ili "nepotrebna". U prvom slučaju posljedice su povećanje ljudskih žrtava i materijalnih šteta, a u drugom nepotrebni prekidi rada i gubici u proizvodnji.

2.3. Pomoć i ublažavanje

Treća karika u lancu upravljanja krizama odluka je o mjerama zaštite koje treba poduzeti. Osnovni je problem optimizacija, tj. između raspoloživih rješenja pronaći ona koja zadovoljavaju kriterij sigurnosti uz najmanje troškove, odnosno ona koja donose najveću zaštitu uz raspoložive resurse.

Postoje analitičke metode u rješavanju takvih problema, uz pretpostavku da su dostupne baze informacija i podataka. Unatoč tome, činjenica je da se metode optimizacije rijetko koriste same za sebe. Razlog je u tome što donosioci odluka više vole odlučivati uzimajući u obzir nekoliko kriterija, među kojima je analitičko rješenje optimalnoga rizika samo jedno. Tako donešene odluke u upravljanju katastrofama redovito uvažavaju i popratne učinke poduzetih mjera, koji su često i negativni, kao što je to npr. djelovanje velikih akumulacija na mikroklimu i sl. Kriteriji se u praksi temelje i na intuiciji i političkim prioritetima, a značajno su uvjetovani i tradicijama društva. Nedvojbeno, važnost koja se pridjeljuje smanjenju katastrofa ovisi o prihvaćanju u društvu. Donosioci odluka određuju kriterije prije svega prema lokalno prihvaćenu sustavu vrijednosti, u rasponu od fatalističkoga prihvaćanja katastrofa kao izraza volje sudbine, do definiranja potpune spremnosti za svaku, čak i najmanju moguću katastrofu. Iz naznačenoga se može shvatiti zašto objektivne analitičke metode optimalnoga rješenja rizika nisu najprihvatljivije. Primjerice, analitičko rješenje koncepta rizika, izraženo produktom vrlo male vjerojatnosti P_E nekog događaja (npr. reda veličine 10^{-5} ili 10^{-7}) i ekstremno velikih posljedica $K(u)$ čini se prilično besmislenim i protivi se razumu. Stoga je logično pomoću raspoloživih financijskih sredstava osigurati najbolju moguću zaštitu, a to opet ovisi o socijalnim i ekonomskim mogućnostima zemlje.

3. Zaključak

Prirodne katastrofe uzrokuju ljudske žrtve i goleme materijalne gubitke, te stoga uvelike utječu na socijalne, društvene i političke prilike u nekoj društvenoj zajednici. Prirodne nepogode, od kojih neke poprimaju i razmjere katastrofa, znatno utječu na gospodarstvene prilike u Hrvatskoj. Većina njih je meteorološke i hidrološke prirode, a štete koje uzrokuju iznose prosječno 300 milijuna USD godišnje.

Zaštita je od prirodnih katastrofa vrlo složena zadaća, ali je neophodna s gledišta humanosti i neprijepornih ekonomskih učinaka. Zaštitu od prirodnih katastrofa treba uklopiti u strateške planove za siguran i održiv razvoj društvene zajednice. Ona se mora provoditi uz uvažavanje brojnih složenih utjecaja koje ima na različite interese i funkcije društva, pa mora sadržavati i tzv. upravljanje rizicima.

Upravljanje rizicima čini zatvoren ciklus mjera protiv katastrofa: procjenu opasnosti, pripravnost na njih, ublažavanje i obnovu nakon takvog događaja. Njihova provedba zahtijeva interdisciplinarni pristup znanstvenika, inženjera, prostornih planera, financijera, političara i drugih. O jednom dijelu tih mjera odlučuju eksperti koji uglavnom koriste analitički pristup, i za njih su analitičke metode rizika korisne. Međutim, treba naglasiti da analitičko formuliranje koncepta rizika daje logične i korisne informacije samo ako je učestalost nekog ekstremnoga događaja razmjerno velika. Druge mjere ovise o političkim odlukama, raspoloživim fondovima i o prioritetima, među kojima je smanjenje opasnosti od katastrofa samo jedan. Upravljanje rizicima osigurava logički pristup tom problemu, a realizacija mora biti prepuštena osobama koje su dobro upoznate sa svim aspektima ublažavanja katastrofa.

Ovaj rad ilustrira samo dio cjelovita sustava mjera protiv elementarnih nepogoda koji Nacionalni komitet Republike Hrvatske za IDNDR-UN priprema prema zahtjevu Vlade.

Literatura

- IDNDR Committee of the Ministry of Construction, Japan, 1994: Disasters around the world - a global and regional view. World conference on natural disaster reduction, Yokohama, Japan, 23-27 May 1994, Inf. paper No. 4, 87pp.
- Sijerković, M., Čapka, B., 1994: Prirodne katastrofe, poljodjelstvo i gospodarenje vodama. Priopćenja sa znanstvenog skupa: Poljoprivreda i gospodarenje vodama. Studeni 1994, Bizovačke toplice, 487-495.
- UN-WMO-UNESCO, 1994: World conference on natural disaster reduction, Technical Committee F - Warning systems, Yokohama, Japan, 23-27 May 1994.
- UNCRD (United Nations Centre for Regional Development), 1994: World conference on natural disaster reduction, Technical Committee Session C, The Effects of Disasters on Modern Societies, Yokohama, Japan, 23-27 May 1994.
- UNDRO (United Nations Disaster Relief Co-ordinator), 1991: Mitigating natural disasters: phenomena, effects and options. A manual for policy makers and planners, United Nations, New York.
- WMO-No. 722, Smith, D.K., 1989: Natural disaster reduction: how meteorological and hydrological services can help, 43 pp.
- WMO-No. 799, 1994: A decade against natural disasters, 20 pp.
- WMO/TD-No. 591, 1994: Meteorological and Hydrological risk management, Report No.TPC-32.
- WMO/TD-No. 598, Wernly, D., 1994: The roles of Meteorologists and Hydrologists in Disaster Preparedness, Report No.TPC-34.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

J. Riđanović, V. Šimunović

R 8-02

Geografski aspekt poplave s primjerima iz Hrvatske i Hercegovine

SAŽETAK: *Iz Hrvatske odabran je primjer poplave na poriječju Save u regiji Zagreb-Karlovac-Sisak, posebice tijekom studenoga 1990. godine. Iz Hercegovine prikazuju se poplave u Grudskom (Bekijskom) polju, ali kao sastavnom dijelu Imotskog polja u Hrvatskoj. Poplave se razmatraju u dva geografsko-geološki bitno različita kraja. Poriječje Save u široj regiji Zagreba ponajviše je u vododržljivim stijenama. Imotsko-Bekijsko polje pretežito je u karbonatnim, topljivim stijenama. Geografski aspekt istraživanja poplave polazi od mehanizma otjecanja vode. Mehanizam otjecanja vode bit će u skladu s geografsko-geološkom strukturom terena i hidrogeološkom funkcijom prevladavajućih stijena. Težište je na geografsko-fizičkim uvjetima otjecanja vode u poriječju.*

KLJUČNE RIJEČI: *geografski aspekt poplave, mehanizam otjecanja vode, geografsko-fizički uvjeti otjecanja vode, hidrogeološka funkcija stijena, topljive stijene, vododržljive stijene, poriječje.*

Geographical Aspects of Flood with Examples from Croatia and Herzegovina

ABSTRACT: *Geographical aspects of flood research starts with the water runoff mechanism. The runoff mechanisms shall be in agreement with the geographic/geologic structure of the terrain and the hydrogeological function of the predominant rocks. The emphasis is on the geographic/physical conditions for runoff in the river basin. An example of flood in Croatia is the one of the Sava River basin (Zagreb-Karlovac-Sisak area), particularly in November 1990.*

An example of floods in Herzegovina is the one of Grudsko (Bekijsko) Polje as an integral part of the Imotsko Polje in Croatia. The floods are considered in two geographically and geologically essentially different areas. The Sava River basin in the broader Zagreb region lies generally on the impermeable rocks. The Imotsko-Bekijsko Polje lies on predominantly carbonate rocks.

KEY WORDS: *geographic aspect of flood, runoff mechanism, geographic/physical conditions of runoff, hydrogeological function of rocks, impermeable rocks, river basin*

1. Uvod

Poplava je hidrografska pojava kad voda preplavi okolni teren ponajčešće u dolinama rijeka izlivanjem iz korita, iznenadnim dizanjem razine mora ili vode u jezerima. Poplave su ponajprije prirodne, ali mogu biti i umjetne. Uzroci su poplava mnogobrojni, uglavnom su geofizičke naravi uvjetovani hidrološkim režimom, što znači dugotrajnim kišama nakon izrazito sušnih razdoblja, naglim kopnjenjem snijega ili talenjem leda. Poplava u priobalnim dijelovima mora, jezera i tekućica nastupa izravno nakon potresa, vulkanskih erupcija u podmorju, većih odrona zemljišta, rušenja nasipa, brana... s velikim razaranjima i katastrofalnim posljedicama. Poplava je elementarna nepogoda i trajna opasnost koja se ne može otkloniti, ali se može ublažiti sustavnim interdisciplinarnim i multidisciplinarnim istraživanjima. Na opseg poplave značajno utječu veličina i oblik poriječja, pad, koncentracija mreže tekućica, specifično otjecanje, različiti koeficijenti, od razvijenosti toka rijeke, asimetrije, varijacije, pa do pošumljenosti... To su važne hidro-veličine koje su integralni dio geografskog aspekta istraživanja poplave.

2. Pojava poplave

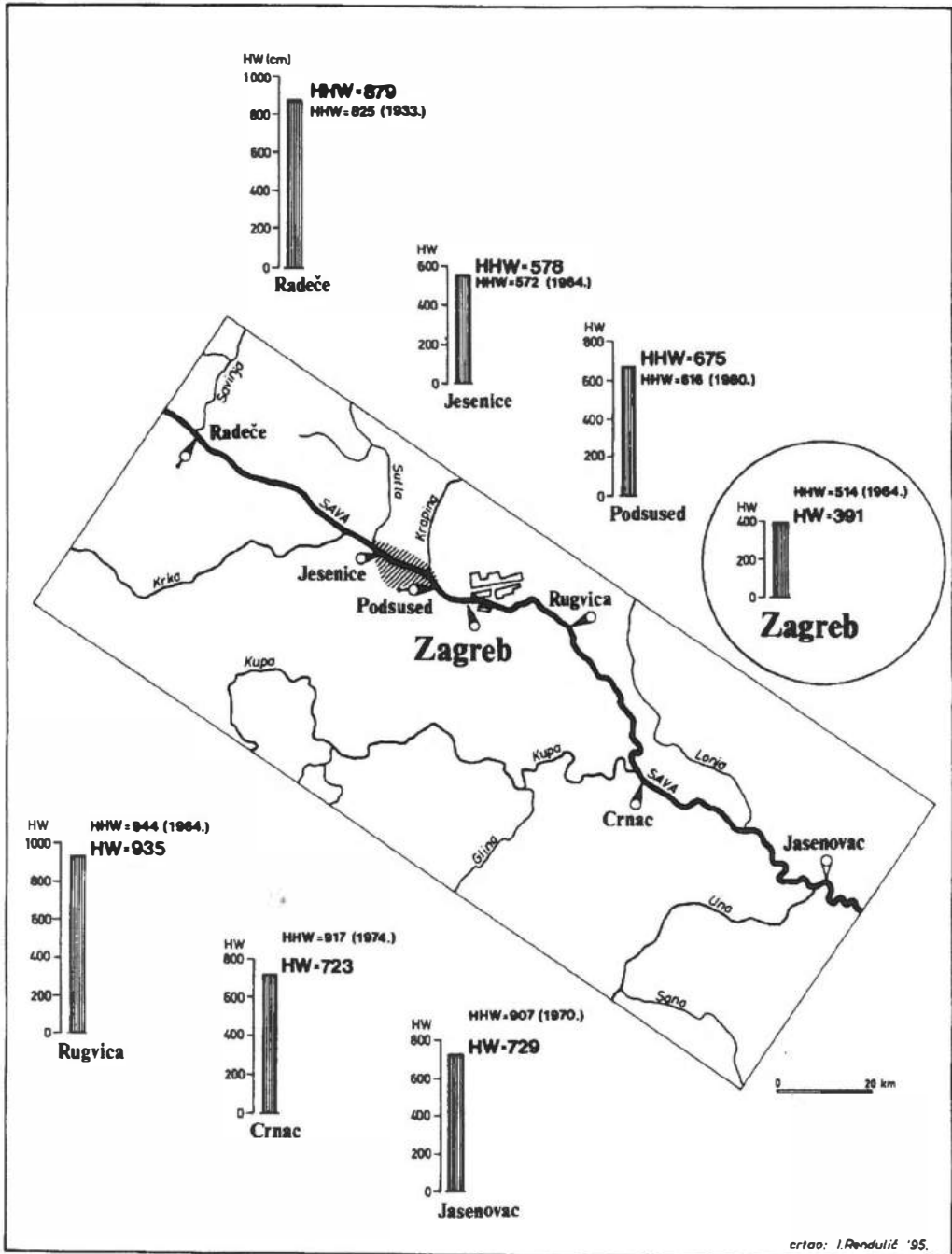
Na poriječju Save u regiji Zagreb-Karlovac-Sisak pojavio se tijekom mjeseca studenoga 1990. g. visok vodni val kao posljedica trodnevnoga padanja kiše krajem listopada u Sloveniji. U različitim dijelovima Slovenije od 31. 10. u 7 sati do 1. 11. u 19 sati palo je od 120 do 240 mm kiše (Pristov, 1991). Posebno su bili poplavljene dijelovi Savinje nizvodno od stanice Luče (Meze, 1991) i na Savi između Zidanog mosta i Bregane (Šifrer, 1991). Najveći intenzitet padalina (150 mm/dan) bio je na kišomjernoj stanici Luče u poriječju Savinje. U Laškom na Savinji izmjeren je najviši vodostaj, HHW=690 cm, koji je uvjetovao apsolutno najveću protoku, HHQ=1490 m³ s⁻¹ u nizu 100-godišnje velike vode! U Hrvatskoj je visoki vodni val Save prouzročio manje poplave u trokutu Zaprešić-Podsused-Samobor, ali je izazvao najviše dosad zabilježene vodostaje na hidrometrijskim profilima Save uzvodno od Zagreba (Riđanović, Tropan, 1991). Visoki vodni val Save početkom studenoga 1990. g. u regiji Zagreb-Karlovac-Sisak specifična je hidrometeorološka pojava koja bi zahtijevala iscrpnu analizu geografsko-fizičkih uvjeta otjecanja vode (Srebrenović, 1968) i brojnih drugih parametara (Šegota, 1984).

3. Podaci

Režim vode u prirodi vremenski je slijed stanja vode koji se određuje pojedinim hidro-veličinama. To su prostorni parametri koji obilježavaju mjesto (lokaciju), parametri kvantitete i parametri kvalitete.

U ovom radu predočeni su ekstremni, najviši vodostaji na karakterističnim automatskim vodomjernim stanicama.* (Vidjeti sl.1.).

* Automatska stanica se sastoji od tlačnog limnigrafa (u pravilu "Seba"), stanice CUP 8080, modema i uređaja za napajanje. Mjere se vodostaji s podešavajućim ciklusom, te temperature svaki sat. Data je mogućnost pretvorbe mjernih u izvedene veličine. Periferna stanica može memorirati izmjerene podatke do 3 dana. Centralna stanica bilježi na traci podatke do 7 dana, a dalje se podaci ručno unose u centralno računalo.



Slika 1. Najviši vodostaji (HW) Save u regiji Zagreb-Karlovac-Sisak u razdoblju od 1.11. do 7.11.1990.

Figure 1. The highest water stage (HW) of the river Sava in the region of Zagreb, Karlovac and Sisak. Period between Nov.1, and Nov. 7. 1990.

Tablica 1. Najviši vodostaji (HW) Save u regiji Zagreb-Karlovac-Sisak u razdoblju od 1.11. do 7.11.1990.godine

Hidrometrijski profil	HW u cm	Dan
Radeče	879	2.11.
Jesenice	578	2.11.
Podsused	675	2.11.
ZAGREB	391	2.11.
Rugvica	935	3.11.
Crnac	723	5.11.
Jasenovac	729	6.11.

Izvor: Državni hidrometeorološki zavod Hrvatske

4. Glavni rezultati

Iz raspodjele najviših vodostaja (HW) Save u regiji Zagreb-Karlovac-Sisak u razdoblju od 1.11. do 7.11.1990. g. slijede ovi zaključci:

- a) Visoki val vode na Savi u regiji Zagreb-Karlovac-Sisak uvjetovao je pojavu dosad najviših vodostaja (HHW) na hidrometrijskim profilima uzvodno od Zagreba (vidjeti sl. 1.).
 - U Radeču Sava je 2.11. dosegla najveću visinu, HHW=879 cm, za 54 cm bio je taj vodostaj viši od ranijeg apsolutnog maksimuma, HW=25 cm (23.9.1933.).
 - U Jesenicama na Dolenjskom istoga je dana na Savi zabilježen dosad najviši vodostaj, HHW=578 cm, za 6 cm je nadvisio raniji apsolutni maksimum, HW=572 cm (25.10.1964.).
 - Na vodomjernoj stanici Podsused Sava je 2.11.1990. g. dosegla također ekstremno najviši vodostaj, HHW=675 cm; 59 cm je bio viši od prije izmjerena najvišeg vodostaja, HW=616 cm (10.10.1980.).
- b) U Zagrebu i nizvodno tijekom visokoga vala vode na Savi početkom studenoga 1990. bili su maksimalni vodostaji (HW) znatno niži od dosad najviših vodostaja (HHW) (vidjeti sl. 1.).
 - U Zagrebu je dana 2.11.1990. g. maksimalni vodostaj (HW) iznosio 391 cm, dok je apsolutno najviši vodostaj, (HHW) od 514 cm bio izmjeren 26.10.1964. g. Tadašnji (1990) vodostaj bio je niži za 121 cm.
 - U Rugvici je dana 3.11.1990. g. izmjeren maksimalni vodostaj, HW=935 cm, dok je apsolutno najviši, HHW=944 cm, bio registriran dana 26.10.1964. g. Vodostaj je ovom zgodom bio niži za 9 cm.
 - Na vodomjernoj stanici Crnac 5.11.1990. g. izmjeren je maksimalni vodostaj, HW=723 cm, dok je apsolutno najviši vodostaj, HHW=917 cm, bio izmjeren 7.10.1974. g. Maksimalni vodostaj iz 1990. g. bio je niži za 194 cm.
 - Na hidrometrijskom profilu Jasenovac Sava je dosegla maksimalni vodostaj, HW=729 cm, dana 6.11.1990.g., koji je bio niži za 178 cm od apsolutno najvišega, HHW=907 cm zabilježenog dana 18.1.1970. g.

Iz raspodjele maksimalnih vodostaja (HW) u razdoblju od 24.10.1990. g. do zaključno 6.11.1990. g. vidljivo je da je visoki vodni val vode na Savi u regiji Zagreb-Karlovac-Sisak trajao od 1.11. pa sve do 6.11.1990. g. s izrazitom kulminacijom 2.11. kad je i obujam protoke dostigao vrhunac na hidrometrijskome profilu Radeče (Riđanović, Tusić, Tropan, 1991).

Vodomjerna stanica u Radeču još se jednom potvrdila kao reprezentativan i odlučujući hidrometrijski profil za predviđanje hidroloških veličina u Zagrebu (Riđanović, 1968).

Takva raspodjela maksimalnih vodostaja na poriječju Save u regiji Zagreb-Karlovac-Sisak tijekom studenoga 1990. g. ukazuje na vrlo važne promjene u geografsko-fizičkim uvjetima otjecanja koji su uzrokovani novijom izgradnjom hidrotehničkih objekata na Savi (Srebrenović, Zl., 1993) i pritokama u široj regiji Zagreba (Riđanović, Počakal, 1983).

5. Grudsko (Bekijsko) polje

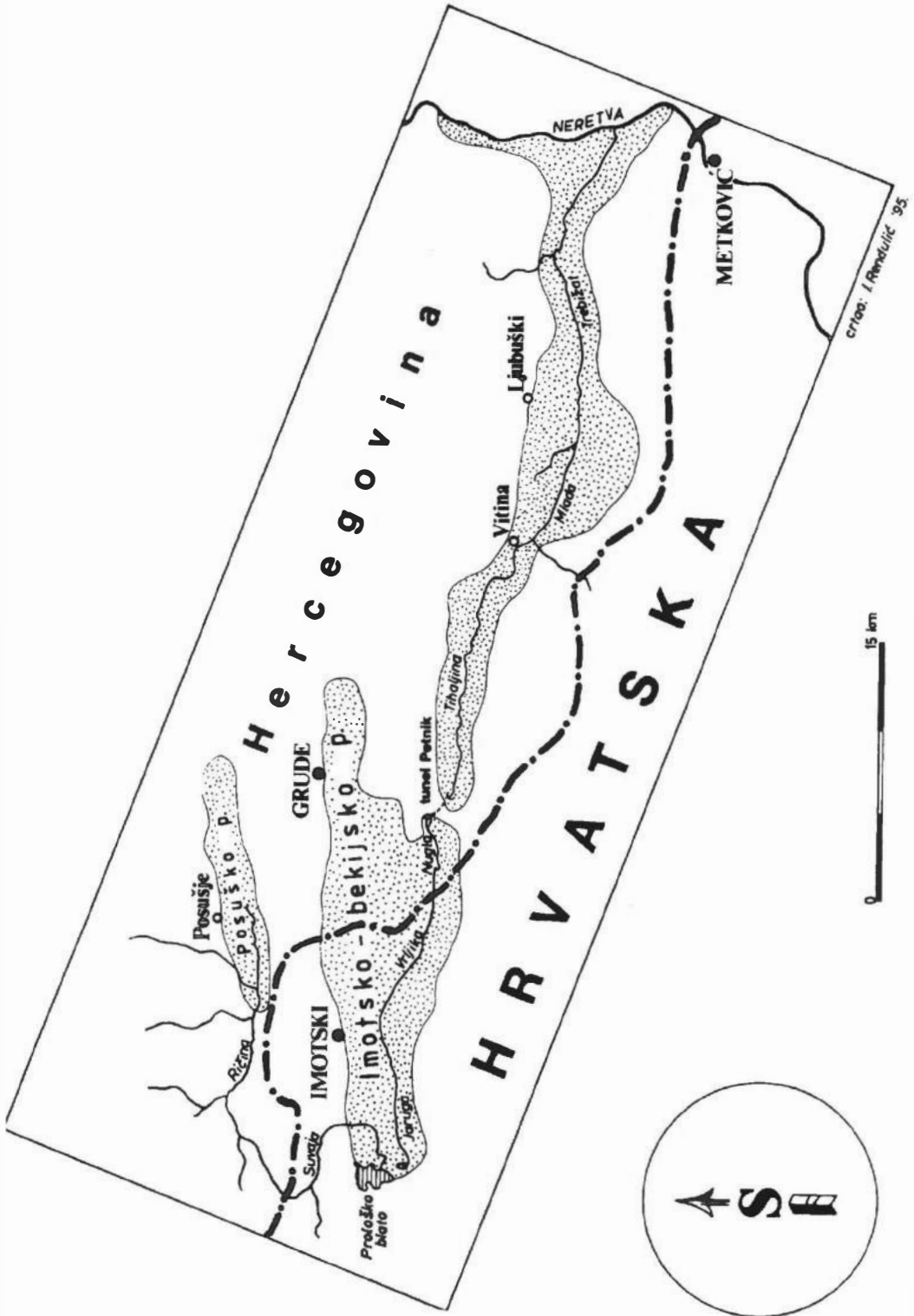
Nalazi se u kršu zapadne Hercegovine a prema geografsko-hidrogeološkoj strukturi terena, nastavak je Imotskoga polja u Hrvatskoj (Šimunović, 1985). Ukupna površina Imotsko-Bekijskog (Grudskog) polja iznosi 9 500 ha. Administrativno-političkom granicom podijeljeno je polje u dva dijela. U Hrvatskoj je manji dio (4 400 ha); polje u Hercegovini obuhvaća 5 100 ha. Imotsko-Bekijsko polje na prosječnoj je nadmorskoj visini 270 m; izduženo je od sjeverozapada prema jugoistoku oko 35 km, a širina mu varira između 1 i 5 km. Polje je pretežito u karbonatnim (vapnenačkim i dolomitnim), to jest topljivim stijenama. Na toj osnovi razvio se krški reljef i specifična cirkulacija vode (Bonacci, 1987). Riječna je mreža na površini oskudna, uz sjeverni rub polja brojna su vrela, a na južnoj su strani ponori i estavele.

Glavna tekućica je Vrljika. Vrljika je specifična rijeka, napaja se iz četiri izvora (Opačac, Utopišće, Jauk i Jezerine ili Zdilareva oka) i teče površinski uz južni rub polja, a od Kamen Mosta naziva se Matica i završava u ponoru Šajnovac. Izgradnjom tunela kroz brdo Petnik javlja se brzotokom kao Tihaljina u Hercegovini odakle nastavlja teći prema jugoistoku ponovno mijenjajući naziv u Sita, potom Mlada koja utječe u Trebižat. Trebižat se nizvodno od Capljine ulijeva u Neretvu (Riđanović, Šimunović, 1993).

Vrljika sakuplja najveći dio vode u Imotsko-Bekijskom polju i najjače utječe na pojavu, intenzitet i dužinu trajanja poplava.

6. Kronologija poplava

- 1934-35. godine: – Poplava je bila većih razmjera, 80% površine polja bilo je pod vodom. Poplava je trajala od početka studenoga 1934. do početka travnja 1935. g., dakle 5 mjeseci!
- 1954-55. godine: – Poplava je također bila velikih razmjera, 65% površine polja bilo je poplavljeno. Poplava je trajala od polovice studenoga 1954. g. do polovice siječnja 1955. godine, ukupno tri mjeseca.
- 1956. godine: – Poplava je bila kraćega trajanja od početka do polovice studenoga 1956. godine.
- 1970. godine: – Poplava je zahvatila 50% polja, 15% pod kulturama. Pojavila se polovicom siječnja i trajala 10-ak dana.
- 1976. godine: – Poplava je zahvatila 60% polja, 20% pod kulturama, ponajviše pod kukuruzom i ozimim žitaricama. Trajala je dva mjeseca, od 10. 10. do 10. 12. 1976. godine.



Slika 2. Imotsko-Bekijsko polje, hidrografska mreža
 Figure 2. Imotsko-Bekijsko polje, Hydrographic Network

- 1982-83. godine: – Poplava je zahvatila 55% polja, 15% pod žitaricama i vinovom lozom. Trajala je od studenoga 1982. g. do siječnja 1983. godine, dakle dva mjeseca.
1994. godine: – poplavljeno je bilo 35% površine polja, 15% obradivih površina, ostalo livade i pašnjaci. Poplava je trajala od 15. do 30. siječnja 1994. g., 15-tak dana.

Glavni su uzroci poplava u Imotsko-Bekijskom polju dugotrajne kiše koje uvjetuju naglo visoke vodostaje u slabo održavanim koritima tekućica, a istodobno povećavaju izdašnost okopljiskih vrela.

U Grudskom polju od kultura najzastupljenije su ozime žitarice (pšenica, ječam, kukuruz) i loza. Na krajnjem jugozapadnom dijelu polja gdje su jače izražena udubljenja (Baran i Prispa) poplava je svakogodišnja pojava. Redovito je oko 8% polja pod vodom i 4% obradivih površina. U Imotskom polju najčešće se bili plavljeni vinogradi. Kraće poplave uzrokovale su manje štete, dok su jesenske i zimske poplave nanosile kudikamo veće gubitke na ozimima žitaricama.

Obrana od poplava započela je realizacijom projekta "Regulacija rijeke Vrljike" (Hidroprojekt, Zagreb 1955). U sklopu predviđenih hidrotehničkih radova izgrađen je ponajprije 1951. godine tunel duljine 1574 m kroz brdo Petnik da ubrza otjecanje vode i smanji trajanje poplave u polju, potom spremnici za vodu, "retencija" Prološko blato s obujmom oko 11.5 x 106 m³ vode, te najveći spremnik za vodu u okviru Imotsko-Bekijskoga polja, Ričice s oko 35 x 106 m³, koji je zasad samo u funkciji obrane od poplava, a pušten je u pogon godine 1988. U međuvremenu, izgrađeni su još obrambeni nasipi uz bujicu Suvaju i uz tok Sije a izvršena je bila i djelomična regulacija Vrljike (godišnji izvještaj o obrani od poplava JVP "Hrvatska Vodoprivreda", Organizacijska jedinica Split, 1993).

Svi ti zahvati utjecali su na smanjenje poplava u Imotsko-Bekijskom polju i za očekivati je da će se cjelovitom izgradnjom sistema zaštite od poplava, u zajedništvu između Hercegovine i Hrvatske, naći najsvrhovitije rješenje.

7. Zaključak

Poplave u Imotsko-Bekijskom polju uvjetovane su dugim jesenskim i zimskim kišama, loše održavanim koritima tekućica i preslaboj vodopropodnosti ponora. Suvremeni hidrotehnički zahvati smanjuju intenzitet i trajanje poplave tijekom vremena pa se imperativno nameće potreba ostvarivanja cjelovitog sustava zaštite od poplava u Imotsko-Bekijskom polju.

Poplava u regiji Zagreb-Karlovac-Sisak tijekom studenoga 1990. g. uzrokovana je visokim valom Save iz Slovenije koji se naglo pojavio i nakon dugoga sušnog razdoblja. Specifičnosti tog vala vode ogledaju se u raspodjeli vodostaja na karakterističnim hidrometrijskim profilima Save u široj regiji Zagreba.

1. Novi (viši) maksimalni vodostaji zabilježeni su na Savi uzvodno od Zagreba.

- Kod Radeča je Sava 2.11. dosegla visinu od 879 cm. To je 54 cm više od dosadašnjeg apsolutnog maksimuma iz 1933. godine.
- Kod Jesenica na Dolenjskom istoga je dana na Savi izmjeren vodostaj 578 cm. Za 6 cm nadvisio je raniji apsolutni maksimum iz 1964. godine.
- Kod Podsuseda Sava je dana 2.11.1990. g. dosegla ekstremno najviši vodostaj 675 cm. To je za 59 cm više od prijašnjega najvišeg vodostaja iz 1980. godine.

2. U Zagrebu i nizvodno tijekom visokoga vala vode na Savi početkom studenoga 1990. godine maksimalni vodostaji (HW) bili su znatno niži od dosad najviših vodostaja (HHW).

Poplavom su bili zahvaćeni ravničasti i nizinski predjeli uz Savu i njezine pritoke u regiji Zagreb-Karlovac-Sisak gdje uopće nisu postojali ili su djelomično izgrađeni vodoprivredni objekti. Najveća površina pod vodom bila je u prostoru između Zatrešića-Poduseda-Samobora. Gradovima Zagrebu, Karlovcu i Sisku nije pričinjena velika šteta, budući da je dobro funkcionirao djelomično izgrađen sustav obrane od poplave - Srednje Posavlje.

Visoki val vode na Savi početkom studenoga 1990. godine u regiji Zagreb-Karlovac-Sisak po svom obujmu i učinku važan je detalj i specifična hidrometeorološka pojava u lancu stalnoga gibanja i stoljetnih promjena vode značaja elementarne nepogode.

Literatura

1. Bonacci, O. : Karst Hydrology. With Special Reference to the Dinaric Karst, 184, Heidelberg-Berlin-NewYork-London-Paris-Tokyo, 1987.
2. Bonacci, O. : POPLAVE. Hrvatska vodoprivreda, br. 21/22, 31-38, Zagreb, 1994.
3. Godišnji izvještaj o obrani od poplava, JVP "Hrvatska Vodoprivreda". Organizacijska jedinica Split, 1993.
4. Hidroprojekt, Zagreb, 1955.
5. Meze, D. : Ujma 1990 v Gornji Savinjski dolini, med Lučami in Mozirsko kotlinico. Ujma, broj 5, 39-50, Ljubljana, 1991.
6. Pristov, J. : Razpored padavin in njihov vpliv na poplave. Ujma, broj 5, 10-15, Ljubljana, 1991.
7. Riđanović, J. : Hidromorfološke značajke zagrebačke okolice. Radovi 7, 39-50, Zagreb, 1968.
8. Riđanović, J., Počakal, M.: Hidrogeografske značajke poplavnih terena na poriječju Save u regiji Zagreba. Zbornik saveznog simpozija o metodologiji geografskog proučavanja prirodnih nepogoda, 140-143, Ljubljana, 1983.
9. Riđanović, J., Tropan, Lj.: Visoki vodni val in poplave Save 1990 na širšem območju Zagreba. Ujma, broj 5, 89-93, Ljubljana, 1991.
10. Riđanović, J., Tusić, V., Tropan, Lj.: Poplava u regiji Zagreb-Karlovac-Sisak tijekom studenoga 1990. godine. Radovi 26, 1-16, Zagreb, 1991.
11. Riđanović, J., Šimunović, V.: Geografske značajke i hidrogeografske specifičnosti biokovskog kraja. Ekološke monografije, knjiga 4, Hrvatsko ekološko društvo, Zagreb, 1995.
12. Srebrenović, D.: Geografsko-fizički faktori slivova mjerodavni za površinsko otjecanje. Problemi velikih voda, Zagreb, 1970.
13. Srebrenović, Z.: Poplave 1993. na Savi; sustav zaštite, stanje izgrađenosti i prioritetni radovi. Hrvatska vodoprivreda, godište II., broj 14, 7-15, Zagreb, 1993.
14. Šegota, T.: Fluktuacija vodostaja Save u Zagrebu. Radovi 19, 13-22, Zagreb, 1984.
15. Šifrer, M. : Poplave 1990 ob Savi med Zidanim Mostom in Bregano. Ujma, broj 5, 81-88, Ljubljana, 1991.
16. Šimunović, V. : Ekonomsko-geografski razvoj općine Grude. Diplomski rad na Geografskom odjelu PMF-a Sveučilišta u Zagrebu, 1985.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Andrija Bognar

R 8-03

Regulacije i njihov utjecaj na geomorfološko oblikovanje korita Drave i Dunava u Hrvatskoj

SAŽETAK: *Znatnog utjecaja na razvoj korita pojedinih vodotoka, posebice u Panonskom prostoru, i poloja u njegovu branjenom i nebranjenom dijelu imao je u posljednjih 200-tinjak godina čovjek regulacijskim i hidromelioracijskim zahvatima. Prema karakteru, obimu i značenju u povijesti regulacijskih zahvata na Dravi i Dunavu, mogu se izdvojiti tri različita razdoblja, i to od prvih zahvata pa do kraja dvadesetih godina 19. stoljeća, između 1830. i kraja 1870-tih godina, i treće, od osamdesetih godina prošloga stoljeća na ovamo. Osnovna zadaća regulacijskih radova jest poboljšanje uvjeta korištenja vodotoka u prometnom smislu te osiguravanje nesmetana i što brže mogućeg otjecanja tzv. velikih ili plovnih voda. One su istodobno jedno od posrednih sredstava u obrani poloja od poplava. U istraživanju obilježja i morfogeneze korita od primarnog se interesa kako su se regulacijski radovi odrazili na razvoj uzdužnih profila korita kao i na smjer i karakter izmjena erozijskih akumulacijskih procesa i njima nastalih reljefnih oblika.*

KLJUČNE RIJEČI: *regulacije, rijeka, korito, presijecanje, meandar, velike vode, vodeni promet*

The Drava and Danube Rivers Training in Croatia and Their Impact on Geomorphological Formation of River Channel

ABSTRACT: *During the last two hundred odd years the man-made river training and reclamation projects considerably affected development of riverbeds in some watercourses, particularly those in the Pannonian basin, and flood basins in both controlled and uncontrolled areas. As regards characteristics, scope and historical significance of the river training projects realized on the Drava and Danube, three different periods in time may be distinguished, i.e. from the first projects to the late twenties of the 19th century, between 1830 and the late seventies, and from the eighties of the 19th century to the present date. The essential task of the river training is an improvement in watercourse utilization conditions regarding both the waterborne traffic and unobstructed and fast outflow of the so called flood or navigational waters. This is also one of indirect means of the flood basin flood control. The investigations of the riverbed characteristics and morphogenesis are primarily focused on the effect of the training works on development of the riverbed longitudinal profile, and the trends and characteristics of changes in erosion accumulation processes and the relief forms caused by them.*

KEY WORDS: *river training, river, riverbed, waterways, meander, flood water, waterborne traffic*

Osnovni je zadatak regulacijskih radova poboljšavanje uvjeta korištenja vodotoka prometnom smislu te osiguravanje nesmetana i što bržega otjecanja tzv. velikih ili plavnih voda. Regulacije su korita vodotoka prema tome, jedno od posrednih sredstava u obrani položaja od poplava. Radovi na poboljšanju prometa odnose se na regulaciju korita za male vode izgradnjom posmjernih građevinskih objekata, pera ili traverzi, i na njegovo produbljavanje, dok se za regulaciju korita za odgovarajuće otjecanje srednjih i velikih voda prvenstveno koristi presijecanje meandara, čime se skraćuje dužina vodotoka. Regulacijski radovi na uredjenju korita u pravilu trebaju prethoditi izgradnji obrambenih nasipa uz rijeku i drenažnih kanala i crpki u opolju. U istraživanju svojstava i morfogeneze korita od primarnog je interesa kako su se navedeni regulacijski radovi odrazili na razvoj uzdužnih profila korita Drave i Dunava, kao i na pravac i karakter izmjena erozijskih i akumulacijskih procesa i njima nastalih reljefnih promjena. Ponajprije ukratko o historijatu razvoja regulacijskih radova na obje rijeke i njihovim svojstvima i značenju u pojedinim karakterističnim razdobljima. U tu svrhu veoma dobro su poslužili hidrološki radovi Mantuano Jenő-a (1970., 1976) o Dravi, Atlas Drave (1972), i studije Erdösi F. (1977) o hidrografskoj problematici južnog Dunantula, i Törya (1952) za rijeku Dunav. Iz navedenih radova preuzet je niz podataka o razdobljima, godinama i svojstvima presijecanja meandara.

Regulacijski zahvati na rijeci Dravi

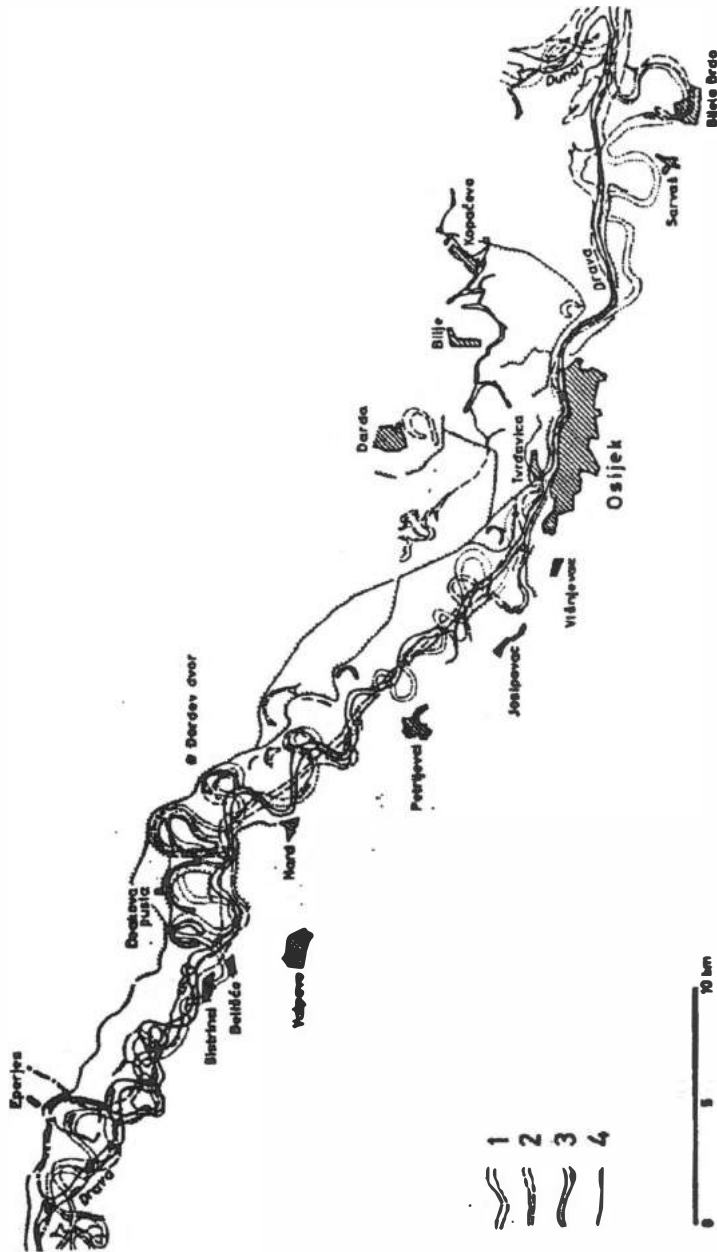
Za promjene toka rijeke Drave važni su podaci u materijalima II. i V. hidrografskog snimanja 1886. i 1966/68. u mjerilu 1:25 000, objavljenih u Atlasu Drave 1972. godine u mjerilu 1:10 000, te vojnoga snimanja između 1782-1784. godine (u mjerilu 1:28 800) čije je rezultate J. Mantuano objavio 1970. godine u svojoj potamološkoj studiji o Dravi, i to u mjerilu 1:50 000.

Prema karakteru, obimu i značenju u povijesti regulacijskih zahvata na Dravi, mogu se izdvojiti tri različita razdoblja, i to vrijeme od prvih zahvata pa do kraja dvadesetih godina 19. stoljeća, drugo između 1830. i kraja 1870-ih godina, i treće od osamdesetih godina prošlog stoljeća do danas.

Regulacijski zahvati do kraja dvadesetih godina 19. stoljeća bili su provodeni bez ikakva sveobuhvatna plana i nisu imali gotovo nikakvu teoretsku znanstvenu osnovu. Često puta ni inženjeri koji su radove izvodili nisu posjedovali odgovarajuća znanja (Erdösi F., 1977). Osnovni je cilj radova bio osiguranje što bržega odvođenja velikih poplavnih voda i sprečavanja erozije obala. Poboljšanje otjecanja tada je još od drugotne važnosti. Regulacije toga vremena stoga imaju uglavnom lokalno značenje, pa su i rješenja bila privremena. Presjeci meandara bili su kratkog vijeka. Rijeka se gotovo redovito nakon godinu-dvije vraćala u svoje prvobitno korito ili je oblikovala novo. Lokalna ravnoteža kosnumacijske sposobnosti rijeke bila je istodobno poremećena, korito se proširivalo i oblikovali se brojni sprudovi, i to kao rezultat deformiranja korita u gornjem i donjem dijelu presjeka krivine. To je bilo uzrokom brojnih ponavljanja radova na presjecima, no, bez pozitivnijega rezultata. Prvi je takav zahvat na Dravi izvršen presijecanjem krivine kod Bijelog Brda nizvodno od Osijeka 1805. godine.¹ To je uopće prvi provedeni presjek meandra na rijeci Dravi, kojih je inače od 1784-1848. godine na potezu od Legrada (ušća Mure) pa do ušća Drave u Dunav bilo čak 62.² Ukupna dužina presjeka iznosila je 75 km. Time je tok Drave skraćen na 60% njegove prethodne dužine, tj. za 182 km, pa je 1848. godine dužina od Legrada do

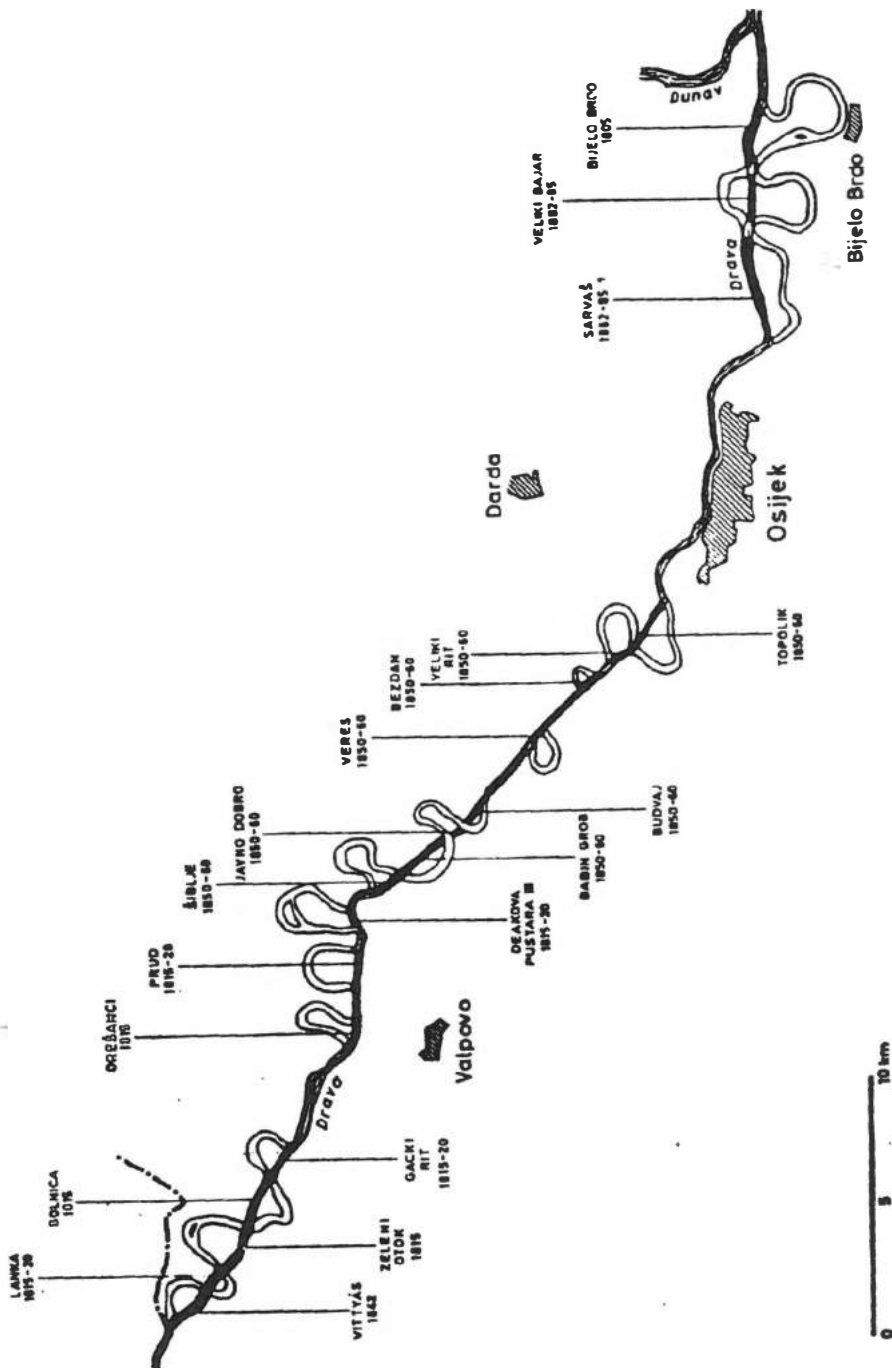
1 Puskas Rezso, A Drava szabalyoaza, izvod, bez godine. Objavljuje i J. Mantuano 1970. (vidi literaturu). Presjek se lijepo vidi i u karti Lipszky Henrika iz 1811. godine.

2 Isto, str. 7.



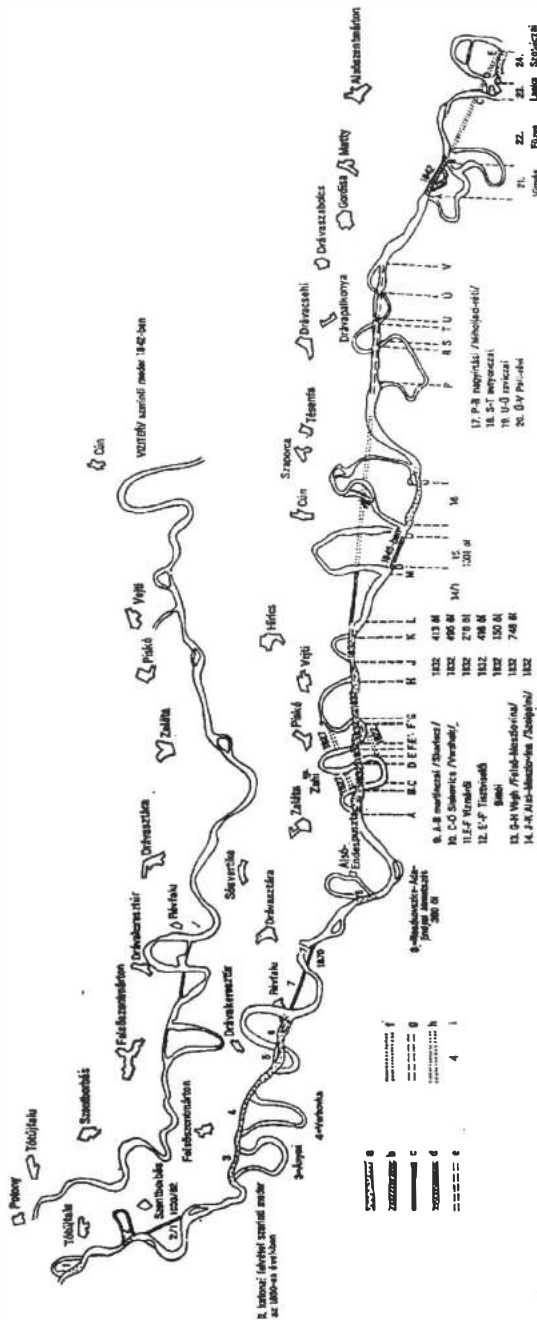
Slika 1 Položaj korita rijeke Drave i njegovo pomjeranje od 1784-1966/68. godine (prema Atlasu rijeke Drave 1972, Mantuano J. 1970). 1. Položaj korita rijeke Drave 1784. (na osnovu prvoga vojnog premjera Josipa II), 2. Položaj korita rijeke Drave 1886. (prema drugom hidrografskom premjeru Drave), 3. Položaj korita rijeke Drave 1966/68. (prema posljednjem hidrografskom premjeru Drave).

Figure 1 The Drava river bed position and its migration during the period 1784-1966/68. (according to Hydrographical Atlas of Drava river 1972, and Mantuano J., 1970). 1. Drava river bed position in 1784. (according to the First military measuring by Joseph II), 2. Drava river bed position in 1886 (according to the Second hydrographical measuring of the Drava river), 3. The Drava river bed position in 1966/68 (according to the last hydrographical measuring of the Drava river).



Sl. 2 Presjeci meandara rijeke Drave u Baranji od početka 19. stoljeća na ovamo (prema J. Mantuáno 1970, Erdösi F. 1977, Puskas R. bez godine i Atlas rijeke Drave 1972). Na slici su navedeni nazivi meandara i godina, odnosno razdoblje njihova presjeka.

Fig. 2 Meandar cuts of the Drava river in Baranja since the beginning of 19th century onwards (according to Mantuano J., 1970., Erdösy F., 1977, Puskas R. - without year, and Hydrographical Atlas of the Drava river, 1972). On the picture are listed the names of meandars and years of periods of their cutting.



Slika 3 Presjeci meandara na Dravi u 19. stoljeću između Detkovca - Sv. Đurađ (prema Erdösi F, 1977). A - presjeci između 1970 i 1838., B - presjeci između 1838 i 1856., C - presjeci između 1856. i 1900., D - neuspjeli presjek, E - primarni glavni kanal, F - planirani, a neostvareni presjek, G - godina presjeka, H - godina planiranja, I - broj presjeka (lokacija, godina).

Figure 3 Man-made meander cuts on the Drava between Detkovci - St. Đurađ in the 19th century (according to Erdösi F, 1977). A - main channel in artificial reach cut in 1790, B - main channel in artificial reach cut in 1838-1856, C - main channel in artificial reach cut in 1856-1900, D - abandoned, unsuccessful cut, E - original trench, F - planned artificial cut, never executed, G - year when the channel was cut, H - year it was planned, I - serial number of artificial cut (place, year)

Aljmaša iznosila 272 km, u odnosu na prethodnih 452 km.³ Prema J. Mantuánu (1976), Drava je skraćena s 352 na 263,2 km. Za nas su rad pored bijelobrdskoga, važni i presjeci iz tog razdoblja na potezu od Torjanca pa do Valpova. Najveći je broj njih izvršen od 1810. do 1820. godine. Međutim, osim presjeka meandara Orešanci (1815. god.), Solnica (1815), Bojačka pustara (1817), Lanka (oko 1820) i Zeleni otok ili Granica (oko 1820), za koje podatke objavljuje Erdösi F. (1977), za sve ostale presjeek meandara, kojih je osim navedenih bilo još četiri, može se samo na temelju usporedbe toka 1784. i 1886. godine pretpostaviti da su presječeni također u prije navedenu razdoblju od 1810-1820. godine, ili najkasnije do 1848., jer za vremenski interval nakon toga postoje pouzdani podaci za sve ostale presjeke.

Razdoblje od 1830-1870. godine karakterizirano je još uvijek regulacijskim radovima bez odgovarajućih hidroloških i hidrauličnih osnova. To je istodobno vrijeme veoma značajnih i opsežnih zahvata provedenih na jedinstvenim načelima, posebno što se tiče presijecanja meandara, koji su sad rađeni prvenstveno zbog skraćivanja vodenoga puta. Odnosi se to naročito na tok Drave nizvodno od Barcsa. Opsežni regulacijski radovi bili su pokrenuti nakon katastrofalne poplave 1827. godine dekretom Kraljevske komisije za regulacije iz 1833. godine. Naime, poplava je jednoznačno ukazala i dokazala lokalni karakter i neuspjelost dotadašnjih regulacija. Između 1842. i 1846. godine provedeno je prvo hidrografsko snimanje Drave. Predviđeno je da se rijeka od Zakány-a do njezina ušća regulacijskim radovima podijeli na četiri ravna poteza. Radovi su i započeli izgradnjom glavnih jaraka na temelju tzv. »njemačkih« principa (J. Mantuáno, 1970). Danas je sasvim jasno da se jedna tekućica s prirodnim vodnim režimom ne može podijeliti na ravne poteze, zbog hidrodinamičkih zakonitosti i različite otpornosti litološke podloge. Upravo stoga ti regulacijski radovi nisu uspjeli unatoč ogromnim materijalnim ulaganjima. U Baranji je u tom razdoblju presječeno 8 meandara između Osijeka i Valpova (20-45 km od ušća), i to u vremenu od 1850-1860. (presjeci Topolik kod Josipovca, Petrijevcu VI ili Monjoroš, Petrijevcu V, Petrijevcu IV, Petrijevcu I ili Vereš, Nard V, Nard IV). Ovi presjeci nisu bili dugoga vijeka jer nisu bili osigurani (presječene krivine nisu bile zatvorene), pa se nakon prolaza jednoga poplavnog vala rijeka često vraćala u staro korito ili se račvala u više rukavaca (J. Mantuáno, 1976).

Jedinstvena načela na hidrološkim i hidrauličkim osnovama primijenjena su u regulacijama nakon 1870., točnije od 80-ih godina prošlog stoljeća.⁴ Godine 1886. provedeno je novo hidrografsko snimanje rijeke, na čijim je osnovama omogućena regulacija toka koja je bila temeljena na dimenzioniranju korita⁵ (tabl. 1).

Određeni su regulacijski nivoi, kao što je »0« nivo vodnog lica itd. Pri određivanju oblika korita predviđene su i dubine koje bi omogućavale promet šleпова i do 400 t pored punog opterećenja. Iako su u to doba presjeci meandara najvažnija metoda u regulaciji toka, istodobno započinje i izgradnja brojnih obalnih zaštitnih objekata, kao što su posmjerni objekti i pera ili traverze, čime se postigla veća stabilnost obala izloženih bočnoj eroziji vodotoka.

Presjeci u Baranji izvršeni su nizvodno od Osijeka na meandru M. Bajar kod Sarvařša 1882-1885. Istodobno se radilo i na uređenju ušća Drave, s tim da je 1884. g. zatvoren jedan rukavac uz lijevu obalu u dužini od 120 m. a 1884-1886. izrađen je jedan posmjerni objekt dužine od 860 m (J. Mantuáno, 1970).

3 Isto, str. 7.

4 Princip regulacije po Fargue-Girardot

5 Na potjecaj od 610 m³/sek.

Tab. 1: Obalni zaštitni objekti na Dravi (u km od ušća - J. Mantuano, 1970.)

Posmjerni objekti		»T« objekti		Pera ili traverze	
desna obala	lijeva obala	desna obala	lijeva obala	desna obala	lijeva obala
0.5- 3.2	0.3- 1.5	3.7	5.2	51.6	52.4
2.3- 4.8	4.8- 5.8	4.1	69.0	51.8	53.0
5.5- 8.0	6.0- 6.9	4.4	73.9	71.5	70.0
9.2- 14	7.5- 10.2	5.1	74.0	71.6	51.4
17.3- 20.1	10.2- 11.9	70.7			71.3
20.9- 24.1	14.0- 20.7	89.4			71.4
49.3- 52.1	20.9- 22.3	89.4			93.4
54.0- 55.5	22.7- 25.1	95.2			
67.4- 68.3	68.6- 68.8	95.5			
70.7- 71.5	69.1- 70.4	98.1			
73.9- 75.2	72.1- 73.3	95.9			
78.5- 78.8	75.5- 76.8	99.2			
82.4- 82.5	80.0- 81.5	102.1			
89.6- 91.5	81.6- 82.6	135.7			
92.5- 93.2	89.1- 90.6	151.8			
94.2- 94.3	93.6- 95.6	152.3			
96.0- 98.3	97.4-100.3	152.9			
99.8-101.0	101.4-106.4				
103.1-104.9	109.0-109.8				
108.7-109.2	112.8-114.2				
116.7-117.1	117.9-118.7				
123.4-123.8	123.4-123.6				
124.5-124.8	125.4-126.5				
127.5-131.1	127.0-138.7				
131.2-135.4	146.6-148.3				
136.0-138.0	148.4-150.2				
144.3-145.2	150.4-150.5				
145.5-146.2	150.9-151.25				
147.8-149.9	151.3-154.9				
150.0-151.4	157.3-159.7				
153.2-157.2					

Izvor: Mappa Generalis regiae Hungariae, de Lipszky 1806, Le Hongarie et le Danube, Mr. Le comte de Marsigli, 1741, Pest, Karta općine Beli Manastir 1:50 000, Uprava za katastar SO Beli Manastir i Kartografski zavod Geodetskog fakulteta, Zagreb 1979.



Slika 4 Skica položaja korita Dunava, od 14. stoljeća na ovamo (izradio autor ovoga rada prema Gy. Györffy 1966, *Mapa Generalis regiae Hungariae*, de Lipszky 1806, *Le Hongrie et le Danube*, Mr Le comte de Marsigli, 1741, Pest, *Karta općine Beli Manastir 1:50 000*, Uprava za katastar SO Beli Manastir i Kartografski zavod Geodetskog fakulteta, Zagreb 1979). 1. Položaj korita Dunava 14. st., 2. položaj korita Dunava 1741. godine, 3. položaj korita Dunava 1906. g., 4. položaj korita Dunava 1979. godine.

Fig. 4 Sketch of the Danube river bed position since 14th century onwards (made by the author, according to Györffy Gy. 1966; *Mapa Generalis regiae Hungariae*, de Lipszky 1806; *Le Hongrie et le Danube*, Mr Le comte de Marsigli, 1741, Pest; *Karta općine Beli Manastir 1:50 000*, Uprava za katastar SO Beli Manastir i Kartografski zavod Geodetskog fakulteta, Zagreb, 1979). 1. the Danube river bed position in 14th century, 2. the Danube river bed position in 1741, 3. the Danube river bed position in 1906, 4. the Danube river bed position in 1979.

Regulacijski radovi prekinuti su 1915. godine (za I. svjetskoga rata), da bi ponovo oživjeli zajedničkim jugoslavensko-mađarskim ugovorom od 1959. godine. Značajnijih zahvata, međutim, na baranjskom potezu dosad nije bilo, i do njih će svakako doći s obzirom na buduću izgradnju vodne stepenice i HE Osijek kod Belišća.

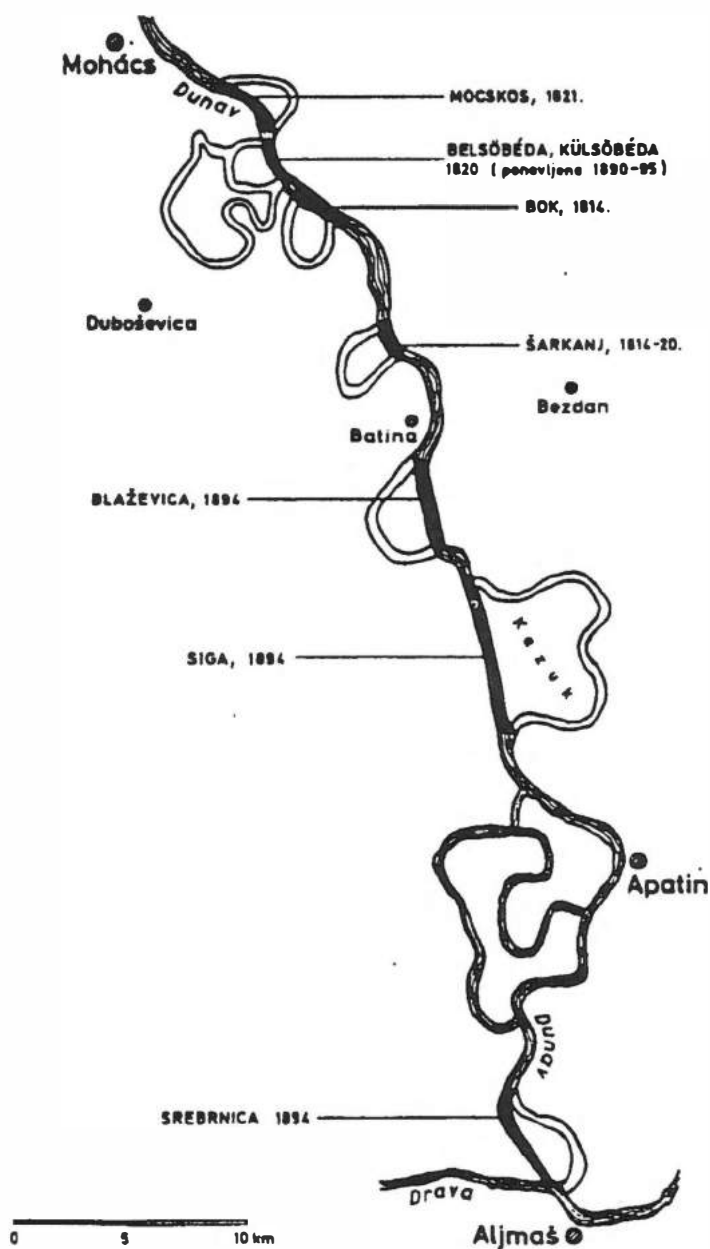
Regulacijski zahvati na rijeci Dunavu

Povijesni razvoj regulacija na rijeci Dunav, kao i onaj na Dravi, ima tri karakteristična razdoblja: prvo od prvih zahvata do 1830. godine, drugo između 1830. i 1870. godine, i treće od osamdesetih godina prošloga stoljeća na ovamo.

Razdoblje do 1830. godine obilježeno je zahvatima bez nekog određenog sistema. Provede se bez znanstvenog temelja i uglavnom su se odnosili na primitivna učvršćivanja obala, kako bi se spriječila jaka bočna erozija rijeke kojom su često odnošani veliki kompleksi oraničnih površina, i na presjeke krivina, i to onih koji su bili uzrok stvaranju ledenih »čepova«, ledeni »čepovi« u to su vrijeme često uvjetovali poplave katastrofalnih razmjera. Nema točnih informacija za naš sektor Dunava, ali je poznat podatak da je između Paksa (R Mađarska) i Batine presječeno 11 meandara, i to dvadesetih godina prošloga stoljeća (prema Zawadowskom u Töry K., 1952). Neposredno uzvodno od državne granice presječene su krivine Bok 1814, vanjska i unutrašnja Beda 1820. i Mocskos 1821. godine (Erdösi F., 1977). Može se pretpostaviti da je i krivina Šarkanj na našem teritoriju presječena u tom razdoblju, najvjerojatnije do 1820. godine.

Od 1830. do 1870. godine unatoč prvom hidrografskom premjeru Dunava (tzv. mapacija Dunava) između 1823-1830. u mjerilu 1:3 600 (Töry K., 1952), pri čemu su dati podaci o vodostajima, profilu vodenoga lica, talwega i obala, veliki zahvati na regulaciji toka Dunava još uvijek su bez odgovarajućih hidroloških, a posebno hidrauličnih osnova. Treba naglasiti da, dok je na primjer na gornjem Dunavu primarni zadatak regulacija bilo osiguravanje vodenoga prometa, južno od Budimpešte, dakle i u Hrvatskoj, zbog izuzetno razvijenih velikih krivina, temeljni je cilj bio osigurati normalno otjecanje velikih plavnih valova i leda. Činjenica je, međutim, da su oba cilja zapravo komplementarna pa su radovi bili istovjetni.

U najnovijem razdoblju od 1870. godine do danas, točnije od 1880. godine, regulacije se sprovode na temelju već iskušanih i svrsishodnih metoda koje su hidraulički i hidrološki opravdane. Krajem stoljeća izvršena su tri presjeka, i to Blaževica (1894), Siga (1894) i Srebrenica 1890-91. i 1894.). Posebno velik problem bio je rad na dva prvospomenuta meandra. Izrađena su tri plana. Primijenjen je tzv. »srednjik«, prema kojem su veliki meandri kod Blaževice i Kazuka presječeni po polovici. Prvi je imao oko 4, a drugi 8 km dužine (Töry K., 1952). Tim presjecima Dunav je napustio kontakt svojeg poloja s lesnim strmim odsjekom Banskog brda i Južne baranjske lesne zaravni između Batine i Zmajevca, i »premjestio« se za nekoliko km istočnije, i to na račun teritorija Bačke. Nakon što su presjeci bili izvršeni, obale Dunava bile su osigurane i posmjernim objektima. Veoma je specifičan slučaj presjeka meandra Srebrenice. Naime, sve do same regulacije sutok Drave i Dunava činio je kut od 180, što znači da su se dvije velike rijeke zapravo sučeljavale. To je imalo za posljedicu da je Drava na svom ušću oblikovala velike sprudove i ade, što je s jedne strane bilo smetnja u vodnom prometu, a s druge je još više potenciran upor vode Dunava za visokih vodostaja u navedenom dijelu toka Drave, čime je i opasnost od poplava bila veća. Istodobno s presjekom utvrđena je obala Drave od Aljmaša i zatvorena su dva rukavca rijeke (Töry K., 1952).



Slika 5 Presjeci meandara rijeke Dunav tijekom 19. stoljeća s naznakom godine, odnosno razdoblja zahvata (izradio autor ovog rada prema Erdösi F., 1977, i Töry K. 1952)

Figure 5 Meander cuts of the Danube river during 19th century (the year or period of cutting is shown - made by author according to Erdösi F., 1977 and Töry K., 1952).

Dinamika oblikovanja korita rijeke Drave

Dinamika oblikovanja korita Drave presijecanjem meandara i izgradnjom različitih građevnih objekata za fiksiranje korita bitno se mijenja u odnosu na prirodno stanje prije 1784. godine kad započinju regulacijski zahvati. Presijecanje meandara u njihovu vratu odrazilo se prvenstveno na značajno skraćivanje dužine toka. Od 1784-1860 kad

se presijecao najveći broj meandara, dužina Drave na potezu ušće-Drávaszabolcs (R. Mađarska) smanjila se za cca 35%.

Međutim, zbog neadekvatna pristupa regulacijskim zahvatima, rijeka je svoj pad nastojala oblikovati prema zakonitostima vodne dinamike, što je pak rezultiralo ponovnim produžavanjem toka. To se posebno odnosi na potez između Osijeka i Valpova i dalje do Drávaszabolcsa gdje presjeci nisu bili uvijek odgovarajuće osigurani, pa se rijeka, nakon prolaza jačih poplavnih valova često vraćala u svoje staro korito ili se račvala u više novih rukavaca. Tab. 2.

Tablica 2: Promjene dužina korita Drave od 1784-1966/68. (J. Mantuano, 1976)

Godina	Ušće Osijek	Osijek-Dravasabolcs	Dravasabolcs-Barcs	Barcs-ušće Mure	Ukupno
1784.	32.0	93.0	125.0	102.0	352.0
1830.	31.2	68.6	89.9	98.1	287.8
1842/46.	29.1	64.4	87.1	82.6	263.2
1860.	20.4	46.6	80.9	80.2	228.1
1886.	23.6	52.6	78.2	73.4	227.8
1904.	22.2	56.8	73.5	85.0	237.5
1966/68.	21.2	56.6	75.4	83.7	236.8

Prema arhivskom materijalu (Erdösi F., 1977) utvrđeno je da su meandarski presjeci u prosjeku bili široki oko 9-18 m i 1,5-2,1 m duboki, što znači da nisu bili široki kao prirodno korito rijeke. Nazivali su ih »vodeći jarci«. U pravilu, ako je zahvat bio primjeren, ubrzo se erozijskim radom vode proširio do prirodnih dimenzija korita. Koliko je taj proces bio dug ovisilo je o sastavu terena vrata meandra, širini korita, padu, kretanju vodostaja i o činjenici da li je smjer usijecanja »vodećeg jarka« odgovarao hidrauličkim odnosima rijeke na tom dijelu toka. Misli se tu u prvom redu na podudaranje smjera »vodećeg jarka« s maticom, točnije s tzv. kinetičkom osi vodotoka. Najčešći uzroci neuspjeha presijecanja meandara mogu se dovesti u vezu s pojavom jake akumulacije i stvaranjem sprudova na izlaznom dijelu presjeka, i to zbog nedovoljna osiguranja njegovih obala od erozijske aktivnosti vodotoka i nepodudaranja smjera iskopanog jarka s kinetičkom osi rijeke, pa je ona tek putem pera ili traverzi bila skrenuta u novi smjer otjecanja.

Ne postoje detaljni podaci o intenzitetu usijecanja novoga korita ni o izmjenama erozijske i akumulacijske aktivnosti rijeke Drave nakon provedenih radova na presjecima. Sasvim je, međutim, sigurno da je skraćivanjem dužine korita zbog povećanog nagiba uzdužnoga profila Drava, radi njegova usuglašavanja, izvršilo snažnu eroziju. Da je to tako pokazuju podaci o izmjenama pada rijeke od 1842/46. do 1972. godine i vrijednosti udubljanja korita po pojedinim razdobljima između pojedinih hidrografskih snimanja. Karakteristično je da su u 130 godina, izuzev razdoblja 1886-1904. vršena stalna produbljanja korita u Osijeku i kod ušća, a manje-više slična situacija utvrđena je kod Drávaszabolcsa. Najznačajnije je udubljanje vršeno između 1842/46. i 1886. godine kad je, posebno uzvodno od Osijeka, presječena najveća krivina na Dravi u Baranji. Od tada na ovamo, iako je tendencija usijecanja nastavljena, izuzevši razdoblje 1886-1904., ono je sve slabije izraženo što upućuje na sve veću tendenciju usuglašavanja profila rijeke.

Povećanjem nagiba Drave i njezine erozijske snage, što je rezultiralo usijecanjem toka, utjecalo se i na kretanje vodostaja rijeke. Nivo vodostaja malih i srednjih voda bilježi u istraživanom razdoblju stalno smanjenje. U razdoblju 1842/46-1886. srednji vodostaji Drave kod Drávaszabolcsa snizili su se za 115 cm, kod Osijeka za 146, a kod ušća za 103 dm (Mantuáno J., 1976). Istodobno, nivo visokih plavnih voda bilježi znatno povećanje, što se odrazilo u čestim pojavama katastrofalnih poplava. Takvi odnosi nisu, međutim, posljedica regulacijskih zahvata, već su uzrokovani širim melioracijskim radovima u poloju rijeke i relativno jakim sječom šuma u izvorišnome području Drave. U vezi s tim, povećao se koeficijent otjecanja. Treba dodati i to da je izgradnja brojnih vodnih stepenica i vodnih akumulacija na Dravi kod nas i u Austriji (11 u Hrvatskoj i 7 u Austriji), te na rijeci Muri u Austriji, također bitno utjecala na kretanje vodostaja.

Dinamika oblikovanja korita Dunava

Dinamika oblikovanja korita Dunava navedenim zahvatima znatno se izmijenila u odnosu na prethodno prirodno stanje. Odnosi se to prvenstveno na skraćivanje duljine toka, čime se povećao njezin nagib, a time i njezina erozijska snaga. Posebno je to došlo do izražaja između Batine i Apatina gdje su presjeci Blaževica i Siga po svojoj prilici uvjetovali dominaciju erozijsko-akumulacijske varijante srednjega toka. Tu je stupanj razvoja meandara danas još uvijek u II. fazi, a sprudova i ada je veoma mali broj. Suprotno tome, nizvodno od Apatina i sjeverno od Batine (Bansko brdo) meandri se, zbog već prije navedene tektonske »živosti« podloge daleko brže razvijaju (III., pa i IV. stupanj), što ukazuje da regulacije tu nisu imale značajnijeg uspjeha. Jesu li tu radovi na zaštiti obala uzrok takvu razvoju ili »mirniji« tektonski režim, teško je ocijeniti bez odgovarajućih podataka. Međutim, sasvim je sigurno da su tu regulacijski radovi na presijecanju meandara u skladu s osnovnom, prirodnom tendencijom mehanizma vode Dunava, pa on tu pri usuglašavanju svog uzdužnog profila bitno nije u posljednjih 90-tak godina produžio svoj tok. Naprotiv, na ostala dva sektora, bočno pomicanje rijeke i dalje je bitan preduvjet usuglašavanju njegova uzdužnoga profila, što se u krajnjoj liniji odrazilo i na povećanje njegove duljine između državne granice i Batine, te od Apatina do ušća Drave. Tab. 3.

Tablica 3: Promjene dužine korita Dunava u razdoblju 1741-1979. (u km)

Godina	Ušće Drave-Apatin	Apatin-Batina	Batina-državna granica	Ukupno km
1741.	36	36	12	84
1806.	16	32	7	55
1979.	16	28	7	51

Kao i u slučaju Drave, regulacije imaju utjecaj i na kretanje vodostaja Dunava. Misli se tu prvenstveno na čestu pojavu veoma visokih voda, pošto niske i srednje vode uglavnom bilježe blagu tendenciju opadanja, a što je uostalom i razumljiva posljedica produbljanja korita pojačanom erozijom nakon izvršenih presjeka krivina. Povećanje visokih vodostaja može se dovesti u vezu s izgradnjom niza akumulacija na toku Dunava u Austriji i isto takvih objekata na njegovim pritocima (Vah), u Slovačkoj, te obešumljavanjem izvorišnih dijelova rijeke. Teško je međutim, egzaktno utvrditi, u nedostatku odgovarajućih mjerenja, koliko i u kojoj mjeri su antropogeni činioci utjecali na kretanje vodostaja Dunava. Problem je to koji bi zahtijevao dublje analize klimatskih tendencija, što izlazi iz okvira ovoga rada.

Literatura

1. Bognar, A. 1990. Geomorfologija Baranje, SGD Hrvatske, posebna izdanja, sv. 7, Zagreb.
2. Erdösi, F. 1977. Human invention in natural process and its consequences - a geographical evaluation of the waters of south-eastern Transdanubia. Földrajzi Ertesítő, god. XXVI, br. 3-4, MTA-FTKI, Akadémiai Kiadó, Budapest.
3. Hidrografski atlas rijeke Drave, sv. 1, 2, 3, Republički sekretarijat za vodoprivredu SR Hrvatske, Zagreb u suradnji s Vodoprivredno naučno istraživačkim institutom NR Mađarske, Budapest, Zagreb, 1972.
4. Informacija o vodoprivrednim koncepcijama na rijekama Muri i Dravi, 1973, Mogućnosti od zajedničke zainteresiranosti IV, Tehnički opis, VIZITERV 3318/IV, Sorszám X-m-II-1-12, Budapest.
5. Mantuano, J. 1973. Információ a Drava és Mura folyókat érintő; vizgazdalkodási elgondolásokrol, Kézirat, VIZITERV, Budapest.
6. Mantuano, J. 1976. Đurđevac-Barcsi vizlépcső - rednszar, VIZITERV, D-1, 15.13/1, Budapest.
7. Mantuano, J. 1970. A Dráva folyó, VIZITERV, TSZ:16 369j, Budapest.
8. Puskas, R. 1954. A Dráva szabályozása (kivonat - rukopis), Budapest.
9. Somogyi, S. 1974. Meder és arterfejlodes a Duna Sarkozi szakasan az 1782-1950, közolt terkepfelvetelek tükreben, Földrajzi Közlemenyek, Tom 98., MFT, Budapest
10. Töry, K. 1952. A Duna és szabályozása, Adakémiai Kiado, Budapest.
11. Györffy, Gy. 1966. Az Árpádkori Magyarország történeti Foldrajza I, Akadémiai Kiado, Budapest.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Zoran Curić

R 8-04

Hidrogeografske značajke donjoneretvanskoga kraja

SAŽETAK: Donjoneretvanski kraj pripada onim hrvatskim prostorima koji su doživjeli zadnjih desetljeća znatne promjene u svojoj hidrografiji. Deltasto ušće Neretve smanjilo se s dvanaest na četiri rukavca, močvarna i jezerska prostranstva hidromelioracijama znatno su smanjena (za 55 %), a dio je izvora kaptiran i iskorišten za vodoopskrbu (Doljani, Klokun, Modro oko i Prud). Najizdašniji je izvor u Prudu odakle je ishodište regionalnoga vodovoda Neretva-Pelješac-Korčula.

Raznolikost hidrografskih pojava pridonosi slikovitosti krajolika što je znatan turistički potencijal i dio je zaštićene prirode koju ugrožavaju procesi urbanizacije i industrijalizacije.

KLJUČNE RIJEČI: donjoneretvanski kraj, Neretva, izvori, jezera, močvare, vodoopskrba, zaštita.

Hydrogeographic Characteristics of the Lower Neretva Region

ABSTRACT: *The Lower Neretva region is one of those parts of Croatia which suffered significant changes in hydrography during the last decades. The Neretva River delta was reduced from twelve to four branches, the lake and swamp areas were considerably decreased by reclamations (by 55%), and some of the springs were tapped and used for water supply (Doljani, Klokun, Modro Oko and Prud). The Prud spring has the highest yield and it feeds the regional water supply system Neretva-Pelješac-Korčula.*

The variety of hydrographic phenomena contributes to attractiveness of the scenery, which is a considerable potential for tourist industry and a part of protected natural capital threatened by the urbanization and industrialization processes.

KEY WORDS: *the Lower Neretva region, the Neretva River, springs, lakes, swamps, water supply, protection*

Uvod

Neretva je najduža tekućica s ušćem na sjeveroistočnoj jadranskoj obali. Duljinom svoga toka od 218 km protječe kroz prostore različita petrografskoga sastava. U svom gornjem toku formirala je impresivan kanjon, srednji tok karakterizira smjena sutjeski i proširenja, a donji tok završava deltom, najvećom u Hrvatskoj. Najveće promjene u svojoj hidrografiji doživjela je delta Neretve zadnjih tridesetak godina. Suvremenim melioracijskim zahvatima nestale su brojne mlake, močvare i jezera. Obilježena je kanalna mreža s ciljem isušenja močvare, a potom natapanja plodnih polja. Stvoren je tako novokultivirani "kazetni" krajolik uz postojeći tradicionalni "jendečki" krajolik.

Cijeli prostor oko donjega toka rijeke Neretve, funkcionalno objedinjen oko Metkovića, Ploča i Opuzena, tvori specifičnu funkcionalnu i fizionomsku mikroregiju koju nazivamo donjoneretvanski kraj. Taj prostor zauzima krajnji sjeverozapadni dio Dubrovačko-neretvanske županije površine 415 km (23,3 % teritorija županije) na kojemu je 1991. živjelo 34 038 stanovnika (26,9 % stanovništva županije). Novim teritorijalnim ustrojem donjoneretvanski je kraj sastavljen od dva grada (Metković i Ploče) i pet općina (Opuzen, Slivno, Kula Norinska, Zažablje, Pojezerje). Na relativno malom neretvanskom prostoru našli su se sjedinjeni različiti hidrografski činitelji. Tu je spoj rijeke i mora, jezera i močvare, te brojni izvori. Suvremeno značenje spomenutih činitelja važno je za vodoopskrbu stanovništva, ali i njihova zaštita igra značajnu ulogu u turističkoj valorizaciji prostora.

Izvori i tokovi

Na kontaktu aluvijalne ravni i vapnenačkog oboda prisutan je veći broj izvora koji su u vrijeme sušna razdoblja jedva primjetni, dok tijekom vlažnijeg dijela godine ispuštaju znatne količine vode. Takve izvore Neretljani nazivaju "vrela", što upućuje na složen i još nedovoljno istražen podzemni labirint voda u kršu. To potvrđuje i činjenica da neki izvori ispuštaju slanu vodu, primjerice Slana draga između Gabele i Pruda. Slatkovodna vrela obilnija su i njihova voda služi za piće. Trajni izvori posljedica su podzemnih tokova i donose vodu iz hercegovačkoga dijela neretvanskoga poriječja. Znatan broj izvora pokriven je aluvijalnim nanosom, pa se javljaju aluvijalna vrela nazvana među neretvanskim pukom "virovima". Primjeri takvih virova su: Koševo, Glušci, Bijeli Vir, Mlinište, Mislina, Badžula... Aluvijalni izvori obično su okrugle udubine promjera 10 do 20 metara, s relativno velikim dubinama. Najslikovitiji je i najdublji izvor Modro oko s dubinom 22,5 m.

Osnovicu tekućica donjoneretvanskog kraja tvori glavni tok Neretve plovna do Metkovića (21 km) gdje se razvila jedina hrvatska riječno-morska luka. Prije suvremenih melioracija Neretva se ulijevala u more posredstvom dvanaest rukavaca. Zahvatima u izgradnji luke Ploče i melioracijom neretvanskih blatija danas su ostala samo četiri rukavca. Dvanaest kilometara prije ušća s lijeve strane glavnoga toka odvaja se Mala Neretva. Tu se razvio Opuzen. Mala je Neretva zatvorena branama kod Opuzena i na svom ušću, a plovna je za manja plovila od kojih su autohtone neretvanske lađe i trupice.

Važniji pritoci glavnog toka su Norin koji izvire kod Pruda, a ulijeva se u Neretvu kod Kule Norinske, i Desanka koja istječe iz Jezera i ulijeva se u Neretvu kod Banje. Dio toga toka od Banje do Ploča teče pod imenom Crna rijeka koja se dijelom ulijeva u jezero Vlaška kod Rogotina. I Mala Neretva prima nekoliko pritoka od kojih se veličinom ističu Prunjak s lijeve strane i Crepina s desne strane. Bolje rečeno, Prunjak istječe dijelom iz jezera Kuti, a dijelom prima vode Matice i ulijeva se u Malu Neretvu

pokraj naselja Podgradine, a Crepina je bila jedan od rukavaca koji se preko jezera Modriča ulijevao u more. Melioracijskim zahvatima Crepina je postala "slijepim crijevom" Male Neretve.

Jezera

Prije regulacijskih i melioracijskih zahvata u vrijeme visokih voda (najčešće zimi) najveći je dio naplavne ravnice donjoneretvanskog kraja bio preplavljen vodom. Regulacijski radovi na toku Neretve potkraj prošloga stoljeća, te suvremeni melioracijski zahvati u posljednja tri desetljeća znatno su promijenili broj i prostorni raspored jezera. Površina jezera dalmatinskoga dijela delte prije melioracije iznosila je 1 404, a nakon melioracije 635 ha. Dakle, površina je jezera smanjena gotovo 55%. Najvažnija jezera prije melioracije bila su: Modrič, Glogačko jezero, Dragače, Time-nica i Palinić. Danas još postoje: Desansko jezero, jezero Vlaška, Parila i Kutli.

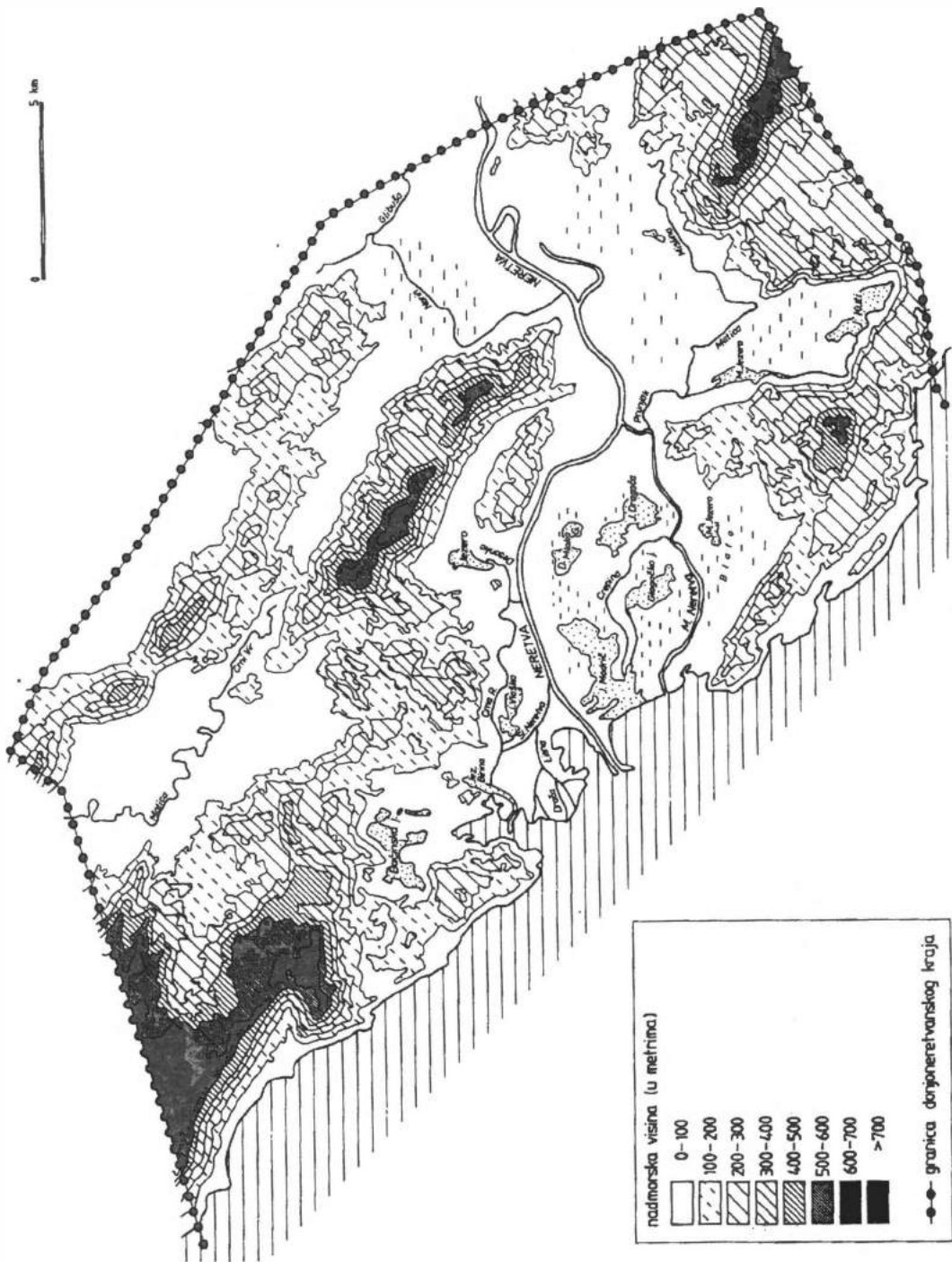
Izvan aluvijalne ravni pozornost privlače atraktivna krška Baćinska jezera. Smjestila su se sjeverozapadno od ušća Neretve, s desne strane Jadranske turističke ceste od Ploča prema Splitu. Samo dva kilometra od Ploča u krškoj kotlini nanizalo se šest jezera. Pet potopljenih ponikava međusobno je povezano vodenom površinom, a jedna je izolirana u kojoj je nastalo jezero Vrvnik. Svaka ponikva ima svoje ime pa od zapada prema istoku leže: Crniševo, Vrvnik, Oćuša, Sladinac, Podgora i Plitko jezero. Pri vodostaju 1,5 m nad razinom mora ukupna je površina svih jezera 1,38 km (138,3 ha). Najprostranije je jezero Oćuša (55,4 ha), a najveća je dubina izmjerena u Crniševu (31 m). Dna Baćinskih jezera leže ispod razine mora, a njihova je površina iznad nulte točke, pa se jezera ubrajaju u kriptodepresije. Jezera su u neposrednoj blizini mora i, usprkos propusnom krškom terenu, ispunjena su slatkom vodom.

Tablica 1. Površine i maksimalne dubine Baćinskih jezera

Jezero	Površina u ha	Maksimalna dubina u metrima
Plitko jezero	9,0	5
Podgora	11,3	10
Oćuša	55,4	18
Sladinac	16,5	16
Crniševo	43,0	31
Vrvnik	3,1	8
Baćinska jezera (ukupno)	138,3	31

Izvor: Studija o mogućnostima uzgoja ribe na Baćinskim jezerima, Prehrambeno-tehnološki institut, Zagreb, 1975.

Izvanredne prirodne ljepote uz povoljan geoprometni položaj čine cjelokupan akvatorij Baćinskih jezera vrlo zanimljivim za razvoj turizma. Već potkraj šezdesetih godina otvoren je prvi kamp za turiste. Danas se na Baćinskim jezerima nalaze dva kampa. Baćinska jezera bistra su, privlačne plavozelenkaste boje, a uokviruje ih bujno zelenilo i okolna brda, tako da oduševljavaju svakog posjetitelja. Pretjerana gradnja obiteljskih kuća kao i zamuljene vode koje dospijevaju iz područja Jezera neizbježno



Slika 1. Orohidrografska karta donjeneretvanskoga kraja prije suvremenih hidromelioracija

remete ljepotu i prirodni sklad u njima. Zato je potrebno uložiti još više truda da taj dragulj hrvatskoga krša zadrži svoju znanstvenu i turističko-rekreacijsku vrijednost u specifičnom krajoliku.

Opskrba vodom

Hidrogeografske značajke obuhvaćaju pregled voda te mogućnosti njihove uporabe i zaštite. Vrednovanje voda posebno je važno u turističkoj valorizaciji prostora jer je turizam jedna od najkompleksnijih gospodarskih djelatnosti, a odraz je sveukupnoga gospodarskoga i društvenoga razvoja.

Usprkos činjenici da je voda u znatnoj mjeri istoznačnica za donjoneretvanski kraj, sa stajališta suvremene vodoopskrbe taj je prostor bio siromašan vodom. Voda je u prošlosti donosila više štete nego koristi. Prije hidromelioracijskih zahvata česte su bile poplave, nakon prvih melioracija prijetila je opasnost od zaslanjivanja voda Neretve u sušnome razdoblju kad je potrebno natapanje, a cijelo vrijeme stanovništvo nije imalo kvalitetnu vodoopskrbu. Prije izgradnje regionalnoga vodovoda Prud - Metković - Blace (22,8 km) i dalje preko poluotoka Pelješca do otoka Korčule, neretvanski je kraj imao tri vodovoda. To su vodovod iz Doljana do Metkovića koji vodom opskrbljuje grad Metković, zatim vodovod Modro oko - Opuzen izgrađen za potrebe poljodjelskih i industrijskih kapaciteta tadašnjeg PIK-a "Neretva". Treći vodovod je Klokun - Ploče s odvojcima do Podace i Komina.

Godine 1962. izgrađena je kaptaza na izvoru Doljani, a godinu dana poslije Metković je dobio vodu iz tog, oko 2 km od središta grada udaljenog izvora. Prvih desetak godina eksploatacije vode nije bilo poteškoća. Međutim, 1972. primijećeno je opadanje obilnosti izvora što je dovedeno u vezu s izgradnjom čapljinke reverzibilne hidroelektrane, pri čemu se vjerojatno poremetilo kolanje vode u krškom podzemlju. Trebamo imati na umu i povećavanje potrošnje vode u Metkoviću zbog porasta broja stanovnika. Zbog toga se produžavao i vodovod pa ukupna gradska mreža iznosi oko 60 km i ima 3 940 priključaka. Problemi vodoopskrbe Metkovića i drugih gravitirajućih naselja mogu se riješiti priključenjem na regionalni vodovod. Opuzen se već opskrbljuje vodom iz regionalnoga vodovoda Neretva - Pelješac - Korčula. Do 1989. opskrbljivao se vodom iz izvora Modro oko, vode kojega su bile prvenstveno namjenjene natapanju polja i prehrambenoj industriji u Opuzenu. Izvor Modro oko istraživao je s ciljem polazne točke regionalnoga vodovoda, ali on nije mogao podmiriti potrebe. Vodovodna mreža opuzenskoga područja duga je ukupno oko 77 km i ima 2 427 priključaka.

Vodovod s izvorištem u području Baćinskih jezera (Klokun) opskrbljuje vodom gravitacijsko područje grada Ploča. Vodovodne cijevi povezuju primorska turistička naselja Gradac, Brist i Podacu te naselja u nizinskom deltastom dijelu donjoneretvanskoga kraja (Baćina, Ploče, Rogotin, Šarić Struga, Banja, Komin). Godine 1971. taj je vodovod opskrbljivao 54,5% stanovništva tadašnje općine Ploče, a iste godine vodovodi u metkovićkoj općini (Doljani-Metković i Modro oko-Opuzen) opskrbljivali su samo četvrtinu stanovništva općine (24,8 %).

Nakon brojnih analiza izvora u delti Neretve za vodoopskrbu neretvanskih naselja i regionalnoga vodovoda, najprihvatljiviji je bio zahvat na izvorištu rijeke Norin u Prudu. Obilnost tog izvorišta (4 000 l/s) peterostruko nadmašuje potrebe cijelog sustava (800 l/s). Na izvorištu nije potreban uređaj za pročišćavanje vode jer zamućivanje nije primijećeno. U povoljne pokazatelje ubraja se i temperatura vode koja tijekom godine neznatno koleba od 11 do 16 C. Sa stajališta održavanja i kontrole

postrojenja, jedinstven je sustav vodoopskrbe sigurniji i ekonomičniji pa ima prednost pred više manjih nepovezanih vodoopskrbnih sustava.

Zaštita kopnenih voda i mora

Republika Hrvatska ima malo značajnijih rijeka koje se cijelom dužinom nalaze na teritoriju naše države. Većina rijeka dolazi s teritorija susjednih država, na kvalitetu čijih voda ne možemo utjecati. Vode Neretve koje dolaze iz susjedne Bosne i Hercegovine pripadaju II.-III. kategoriji (vrsti) iako je za Neretvu propisana II. kategorija. To znači da bi se voda Neretve u prirodnom stanju mogla upotrebljavati za kupanje i rekreaciju građana, za športove na vodi i za uzgoj riba. Ratna razaranja u susjednoj državi zaustavila su industriju u poriječju Neretve (koja je najveći onečišćivač) pa su vode Neretve tijekom 1992. bile u II. kategoriji. Degradacija voda Neretve izravno je povezana s brzom urbanizacijom i industrijalizacijom. Godine 1991. u poriječju Neretve živjelo je oko 350 000 stanovnika, a samo u urbaniziranim naseljima uz Neretvu (Konjic, Jablanica, Mostar, Čapljina, Metković i Opuzen) više od 115 000 stanovnika. Prije velikosrpske agresije na Hrvatsku i Bosnu i Hercegovinu mostarski aluminijski kombinat bio je najveća prijetnja vodama Neretve. Unutar granica Republike Hrvatske vode Neretve primaju nove onečišćivače. Donjoneretvanski kraj je prostor intenzivne agrarne proizvodnje pri čemu prevelika i nekontrolirana primjena kemijskih sredstava može ugroziti vode, tlo i ostale elemente čovjekova okoliša.

Vode Neretve završavaju u moru. Godinama se onečišćenju mora obraćala mala pozornost jer onečišćenja vodotocima u moru imaju sposobnost samopročišćavanja. Zaštita ne samo obalnoga mora, nego i svjetskog mora danas je postala nužnost. Hrvatsko primorje jedno je od ključnih područja za razvoj i međunarodnu trgovinu. More omogućuje korištenje svih prednosti maritimnog položaja. Te prednosti (promet, trgovina, turizam, ribarstvo...) dolaze do punoga izražaja u primorju donjoneretvanskog kraja, ali nameću i obvezu očuvanja kvalitete tog izuzetnoga prirodnog bogatstva. Neretva sa svojim pritocima donosi znatne količine onečišćujućih tvari u Neretvanski kanal jer se u nju ulijevaju nepročišćene otpadne vode naselja i industrije uz Neretvu. Obalno je more uz ušće Neretve III. vrste, a more unutar lučkoga kompleksa u Pločama IV. vrste. Kvaliteta mora prema Kleku i Makarskome primorju zadovoljava turističko-rekreacijske kriterije.

Zaključak

Od svih prirodnih činitelja donjoneretvanskog kraja voda je najviše vezana uz život Neretljana. Tu se čovjek stoljećima borio s manjkom ili viškom vode pa je nastala izreka da se Neretljani "radaju, žive i umiru na vodi". Tu izreku odražava spoj deltastog ušća i mora, izvora, jezera i močvarnih prostranstava, znatno smanjenih tijekom suvremenih hidromelioracijskih zahvata, koji su zadnjih desetljeća fizionomski promijenili deltasti dio donjoneretvanskoga kraja.

Raznovrsnost hidrografskih pojava pridonosi slikovitosti neretvanskih krajolika što je znatan turistički potencijal. Posebno su impresivna Baćinska jezera, Modro oko i Desansko jezero, Kuti i drugi dijelovi zakonom zaštićene prirode. Brojni izvori osnova su suvremene vodoopskrbe, od kojih je najizdašniji izvor Prud. To je izvorište rječice Norin i ishodište regionalnoga vodovoda Neretva-Pelješac-Korčula. Brza urbanizacija i industrijalizacija stalna su prijetnja zagađenju voda i mora čija je zaštita bitna za održivi razvoj donjoneretvanskog kraja.

Pozivne bilješke

- Glamuzina, M.(1986), Delta Neretve - promjene agrarnog pejzaža, SGDŽ, Zagreb, str.41. Glamuzina, M.(1986), n.dj. str.45.
- Ridanović, J.(1979), Hidrogeografske značajke u funkciji turizma Boke Kororske, Boka 10/II., Herceg Novi, str. 353.
- Vančina, F.(1992), Nacionalni izvještaj o okolišu i razvitku, Žubor br. 2., Zagreb, str. 12-16.
- Matas,M.(1992), Zaštita okoliša danas za sutra, Školska knjiga, Zagreb, str. 163.

Literatura

- Basioli, J.(1981), Neretva, Pomorska enciklopedija, drugo izdanje, sv. 5. 328-330., JLZ, Zagreb.
- Curić, Z.(1988), Baćinska jezera-dragulj našega krša, Priroda br. 3-4., god. LXXVII., 38-39.,Zagreb.
- Curić, Z.(1994), Donjoneretvanski kraj, Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb.
- Glamuzina, M.(1986), Delta Neretve-promjene agrarnog pejzaža, SGDŽ, Zagreb.
- Matas, M.(1992), Zaštita okoliša danas za sutra, drugo izmjenjeno i dopunjeno izdanje, Školska knjiga, Zagreb.
- Ridanović, J.(1974), Hidrogeografske značajke Južne Hrvatske, Geografski glasnik br. 36/37., 75-86., Zagreb.
- Ridanović, J.(1979), Hidrogeografske značajke u funkciji turizma Boke Kororske, Boka 10/II., 353-364., Herceg Novi.
- Ridanović, J.(1993), Hidrogeografija, Školska knjiga, Zagreb.
- Vančina, F.(1992), Nacionalni izvještaj o okolišu i razvitku (Platforma za nastup delegacije Republike Hrvatske na konferenciji Ujedinjenih naroda o okolišu i razvitku UNCED '92), Žubor br. 2., god. I., 12-16., HDZVM, Zagreb.

Izvori

1. Popis stanovništva i stanova 1971. godine, opskrba stanovništva vodom za piće, knjiga V., Beograd, 1972.
2. Popis posebno zaštićenih objekata prirode, Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i stambeno-komunalne djelatnosti, Zagreb, 1991.
3. Studija o mogućnostima uzgoja ribe na Baćinskim jezerima, Prehrambeno-tehnološki institut, Zagreb, 1975.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Ante Smirčić, Berislav Glavaš, Mirjana Švonja

R 8-05

Neke hidrološke i batimetrijske značajke Baćinskih jezera

SAŽETAK: *Akvatorij Baćinskih jezera jedinstveni je vodni rezervat u krškome primorskom području Hrvatske. Svojim se smještajem (samo dva kilometra sjeverno od luke Ploče) to područje zanimljivo za vodoprivredni sustav, razvoj i promoviranje turističkih djelatnosti, te kao potencijalni akvatorij za razvijanje ribogojilišta.*

U radu je dan kratak povijesni pregled realiziranih hidrotehničkih objekata na širem području Baćinskih jezera kojima su prethodili određeni istraživački radovi. Dani su također neki rezultati tih istraživanja (godišnji hod, ekstremni vodostaji u tijeku tri perioda motrenja i osnovne značajke batimetrijsko-geoloških premjera), te predložen ambiciozan sveobuhvatni projekt daljnjih potrebitih istraživanja.

KLJUČNE RIJEČI: *vodostaj, vodni valovi, batimetrijsko-geološki premjer.*

Some Hydrological and Bathymetric Characteristics of the Baćinska Jezera Lakes

ABSTRACT: *The Baćinska Jezera Lakes area are a unique water reservation in the Croatian karst littoral region. Its location (only two kilometers north of the Ploče Port) makes this region interesting for a hydropower system, development and promotion of tourism, and a body of water with potential for development of hatcheries.*

The paper gives a brief history of realized hydrotechnical projects in the broader area of Baćinska Jezera which were preceded by certain investigation works. Some results of these investigations are presented (annual rate, extreme water levels in three recording periods and the basic characteristics of bathymetric-geologic surveys), and an ambitious comprehensive project on required future investigations proposed.

KEY WORDS: *water level, water wave, bathymetric-geological surveys*

1. Uvod

Jadranski primorski krš kameni je prostor jedinstvenoga izgleda, oblika Zemljine površine. Pod kamenim površjem smješten je kompleksan i prostran splet podzemnih šupljina različitih oblika i dimenzija, povezanih kanalima, kroz koje protječu podzemne vode.

U predjelima primorskoga krša padaju najveće količine atmosferskih oborina, pa ipak ta područja oskudijevaju vodom. Godišnji hod oborina u tom je području neravnomjeran - sezonski. Ogromne količine oborinske vode koje dospijevaju na površine primorskih krških područja u vrijeme jesensko-zimskih mjeseci brzo nestaju u podzemnim šupljinama i kanalima, tako da ti predjeli, posebno u toplom dijelu godine, oskudijevaju vodom.

U geomorfološkom smislu krš, je skup osobitih raznolikih oblika Zemljine površine: grižine, ponikve, uvale i krška polja. Posebni krški oblici i zasebna mreža podzemnih šupljina i kanala, većinom oborinskih voda, u međusobnoj sprezi čine jedinstvene krške oblike: krške izvore, ponore, špilje, zaravni, podmorske vrulje i dr.

Prema nekim autorima (Gušić, 1960), krš ili kras smatrao se manjim lokacijama pustih i golih terena što se ne može smatrati dovoljno dobrom i iscrpnom definicijom.

Predjeli krša formirani su na određenom geološkom supstratu, a karakteriziraju ih zasebni površinski fenomeni i specifična podzemna hidrologija. Poznavanje krša bilo bi pogrešno shvatiti kao znanstveni hobi pojedinaca. Naprotiv, istraživanje i proučavanje područja krša, posebno primorskoga, treba shvatiti kao zanimljivu djelatnost kompleksne znanstvene discipline, čije su aplikativne koristi raznolike.

Hidrologiju krša čine površinske tekuće vode (rijeke, rječice, i potoci), akumulacijska (umjetna) jezera, podzemne vode i krška jezera.

Jedinstven prirodni fenomen čine krška jezera u koje spada i skupina Baćinskih jezera: Crniševo, Očuša, Plitko jezero, Podgora, Sladinac i Vrbnik, smještena oko dva kilometra sjeverno od luke Ploče. Svojom su ljepotom atraktivan turistički prostor. Akvatorij jezera pruža i mogućnost organiziranja suvremenog ribogojilišnoga rezervata. Brojni izvori, smješteni uglavnom uz njihov sjeverni i sjeveroistočni dio, imaju značajnu ulogu u vodoopskrbi tog područja. Stoga je prostor Baćinskih jezera nužno sačuvati od zagađenja i znatnijih promjena vodnoga režima.

Dosad je u području Baćinskih jezera obavljeno nekoliko istraživanja, uglavnom u svrhu realizacije određenih hidrotehničkih projekata. U ovom radu nastojat će se prikazati sukus rezultata dosadašnjih istraživanja, s toplom preporukom za daljnja, možda i kompleksnija istraživanja.

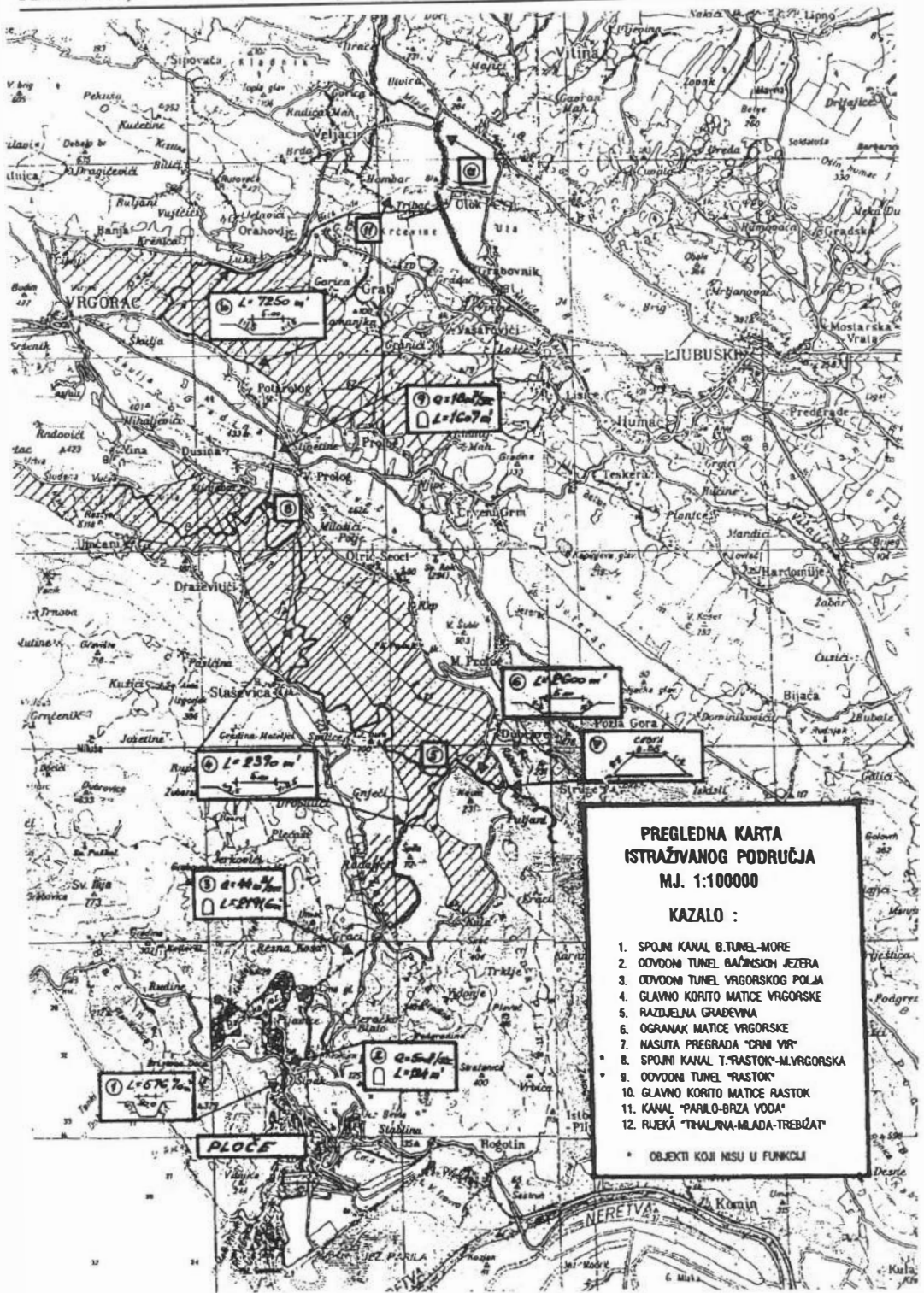
2. Povijesni pregled i temeljne značajke izgrađenih hidrotehničkih objekata na istraživanom području

Prvi hidrotehnički radovi na području Baćinskih jezera izvedeni su 1913. godine (Sl.1). Izgrađen je odvodni tunel dužine 124 metra (od Baćinskih jezera do Bara) i prokopan 576 metara dug kanal do mora (kroz Bare). Izgradnjom tih objekata kapaciteta 20 m³/s, uvelike se smanjio maksimalni vodostaj Baćinskih jezera, čime se omogućila odvodnja 156 hektara zemljišta.

U studenom 1938. godine završeni su radovi na odvodnome tunelu Vrgorskog polja, kapaciteta 20 m³/s i dužine 2191,63 metra.

Realizacijom je tog zahvata dotadašnje Vrgorsko jezero postalo Vrgorsko polje.

Nakon puštanja u rad Vrgorskog tunela, započeti su radovi na proširenju evakuacijskih objekata Baćinskih jezera (tunel i spojni kanal). Radovi na toj rekonstrukciji obavljani su tijekom 1940. godine. Povećani kapaciteti tih objekata zadovoljavali su zahtjevne norme tadašnjega stupnja ekstezivne poljoprivredne obrade Vrgorskog polja.



Slika 1. Pregledna karta hidrotehničkih objekata u širem području Baćinskih jezera
 Fig. 1. General chart of the hydrotechnical installations in the area of the Baćina lakes

Zahtjevi za povećanjem postojećih kapaciteta uvjetovali su novu rekonstrukciju (1973/74 godine). Intencija rekonstrukcije bila je povećanje kapaciteta odvodnje na $44 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nažalost, zbog velikoga koeficijenta hrapavosti uzrokovana nebetoniranim dnom tunela nije postignuta predviđena propusna moć tunela. Analiza je pokazala da kapacitet propusnosti varira od 30 do $35 \text{ m}^3/\text{s}$. Tijekom 1989. godine obavljeno je betoniranje dna Vrgorskoga tunela, čime je postignut njegov projektirani kapacitet.

Druga rekonstrukcija evakuacijskih objekata iz Baćinskih jezera obavljena je 1974. godine. Pri toj rekonstrukciji nastojalo se zadržati postojeću kvalitetu vode jezera. Stoga je izgrađen betonski preljevni prag na koti 0.80 metara iznad srednje razine mora, čime se nastojalo spriječiti miješanje morske vode i vode jezera. Rekonstrukcijom tunela i izgradnjom preljevno praga omogućeno je da se, pri maksimalnom vodostaju jezera, evakuiraju u more količine vode od oko $70 \text{ m}^3/\text{s}$.

1981. godine preljevni je prag srušen, tako da je 1994. godine izgrađen novi s ribljom stazom.

Nakon rekonstrukcija evakuacijskih objekata širega područja Baćinskih jezera, prišlo se realizaciji značajnijih regulacijskih zahvata na vodotoku Matice Vrgorske u Vrgorskom polju. Od 1978. do 1981. godine obavljeni su regulacijski radovi na proširenju glavnoga korita Matice Vrgorske i njena ogranka na području Crnog Vira, u ukupnoj dužini od 26.5 kilometara.

Regulacijski su radovi obavljeni na protoku koji odgovara evakuacijskoj moći odvodnoga tunela i postojećih ponora na južnom rubu polja. Tim su se regulacijskim radovima poplavne površine smanjile od 2640 hektara na 1285 hektara.

U sklopu tih regulacijskih radova izgrađena je razdjelna građevina koja ima ulogu održavanja postojećeg vodnoga režima malih voda. Usmjeravanjem voda na ponorsku zonu Crni Vir omogućeno je prehranjivanje vodom nizvodnih ponora i izvora.

Radi sprečavanja plavljenja melioracijskoga područja Crni Vir, tijekom 1981. godine izgrađena je pregradna građevina. Kroz tijelo nasute građevine prolazi temeljni ispušni profil 1100 milimetara s mehanizmom za ručno manipuliranje i zaštitnom rešetkom.

Stupanj izgrađenosti hidrotehničkih objekata na horizontu Vrgorskoga polja čini prvu fazu radova.

Potrebno uređenje vodnoga režima zahtijeva optimalno dimenzioniranje evakuacijskih objekata za maksimalne vode, uvećane dotokom iz polja Rastok i Jezerac.

Radi efikasnije evakuacije velikih voda iz Rastočkog polja, 1985. godine izgrađen je odvodni tunel dužine 1607 metara i kapaciteta $18 \text{ m}^3/\text{s}$, te izveden spojni kanal od izlaza tunela do vodotoka Matice Vrgorske i obavljena regulacija korita Matice Rastoka u dužini od 7.25 kilometara. Evakuacija velikih voda iz Rastoka još uvijek se obavlja putem postojećih ponora. Novoizgrađeni tunel nije pušten u rad, jer njegovu izvedbu nije pratilo potrebno osposobljavanje hidrotehničkoga sustava Vrgorskoga polja i Baćinskih jezera za prihvata dodatnih količina vode.

Iz ovoga se kratkog povijesnog pregleda hidrotehničkih zahvata na širem području Baćinskih jezera nameće logičan zaključak:

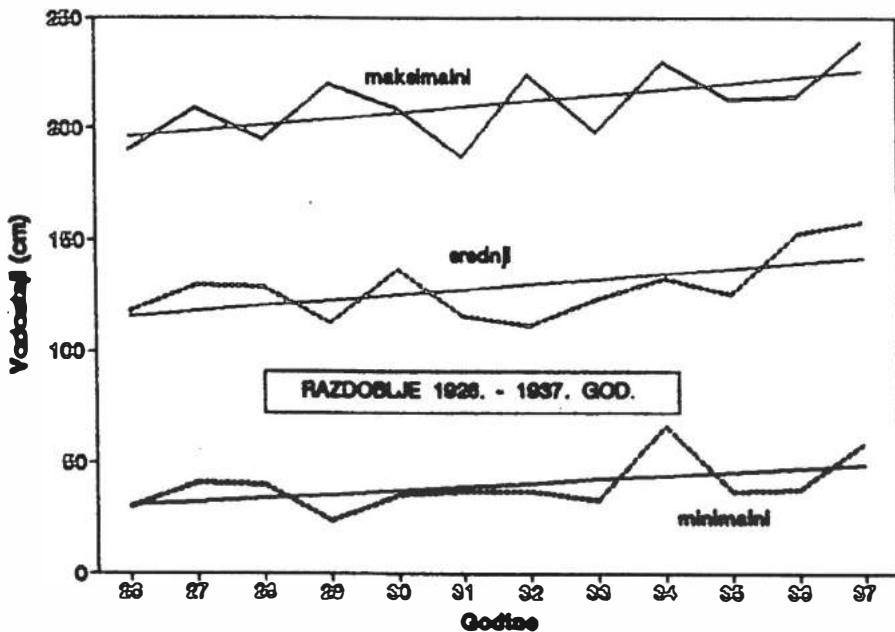
- budućnost konačnog uređenja vodnoga režima na cjelokupnom istraživanom području, ovisit će o rekonstrukciji postojećih hidrotehničkih objekata ili izgradnji novih.

3. Hidrološka obilježja akvatorija Baćinskih jezera

Promjene vodnoga režima Baćinskih jezera mogu se odrediti analizom vodostaja koji se promatraju na vodokaznoj letvi ŠIPAK.

Ovisno o stupnju izgradnje i utjecaju pojedinih hidrotehničkih zahvata, u u prvom redu dovodnoga tunela iz Vrgorskoga polja i odvodnog tunela prema moru, te preljev-nog praga na ulazu u odvodni tunel, mogu se izdvojiti tri specifična hidrološka niza.

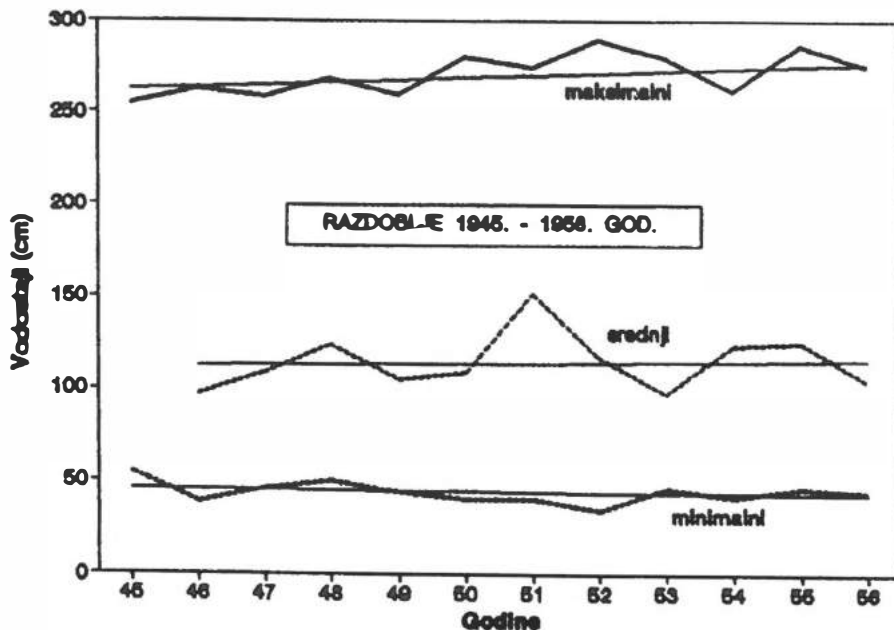
Prvi se niz odnosi na razdoblje od 1913. godine, kad je izgrađen odvodni tunel iz Baćinskih jezera prema moru, do studenoga 1938. godine kad je pušten u rad dovodni tunel iz Vrgorskog polja. Kako se u tom razdoblju ne raspolaže s pouzdanim podacima promatranja (od 1913 do 1926 godine), pri analizi su vodnoga režima korišteni podaci vodostaja promatrani od 1926. godine. Vodni valovi u ovom su razdoblju uglavnom dugotrajni i ujednačeni s maksimalnim nivoima početkom zime i minimalnim krajem ljeta i u ranu jesen. Baćinska su jezera tada prihvaćala samo vode vlastitog sliva i izvorske vode sa sjevernih padina, a praznila se preko odvodnoga tunela prema moru. Najveći opaženi vodostaj iznosio je 239 centimetara ili 263 centimetra iznad srednje razine mora. Vrijednost je najnižega vodostaja za taj vremenski period iznosila je 24 centimetara ili 48 centimetara iznad srednje razine mora (Sl. 2).



Slika 2. Maksimalni, srednji i minimalni vodostaji za razdoblje od 1926. do 1937. godine
Fig. 2. Maximum, average and minimum water levels during the period from 1926 to 1937

Drugi se niz odnosi na razdoblje od ožujka 1940. godine kad je povećana evakuacijska sposobnost odvodnoga tunela iz Baćinskih jezera prema moru, do 1974. godine kad je provedena rekonstrukcija dovodnoga tunela iz Vrgorskog polja. Za to razdoblje raspolaže se samo s podacima od 1945. do 1958. godine kad je postaja Šipak prestala s radom. U tom su razdoblju u Baćinska jezera, osim vlastitih voda, pristizale i dodatne količine poplavnih voda iz Vrgorskoga polja. Stoga su vodni valovi u tom

periodu viši s izraženijim oscilacijama vrhova, ali su i kraćega trajanja nego u prvom periodu. Razlog su tome povećane evakuacijske sposobnosti odvodnoga tunela prema moru. Maksimalni nivoi uglavnom se javljaju od listopada do ožujka, a minimalni i dalje krajem ljeta i u ranu jesen. Najveći opaženi vodostaj u tom razdoblju iznosi 294 centimetara ili 318 centimetara iznad srednje morske razine (Sl. 3).



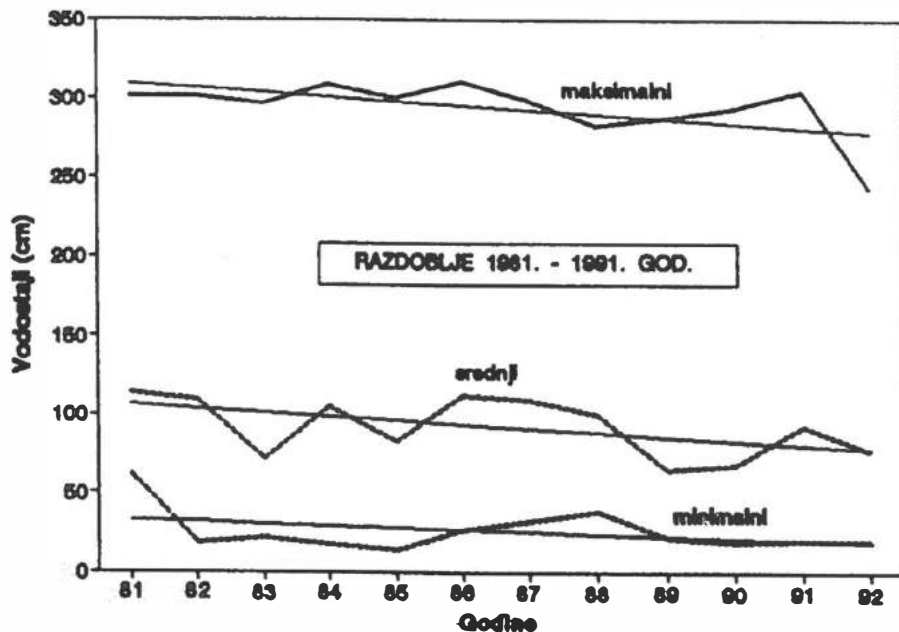
Slika 3. Maksimalni, srednji i minimalni vodostaji za razdoblje od 1945. do 1958. godine
Fig. 3. Maximum, average and minimum water levels during the period from 1945 to 1958

Treći hidrološki niz spada u razdoblje nakon rekonstrukcijskih zahvata na dovodnome tunelu iz Vrgorskog polja i odvodnome tunelu iz Baćinskih jezera prema moru, te nasilno srušenoga betonskog praga izvedenoga na ulazu u odvodni tunel do kote 80 centimetara iznad srednjeg nivoa mora. U tom su periodu vodni valovi najviši, najkraćeg su trajanja i imaju najveći broj oscilacija vrhova. Maksimalni su nivoi također javljaju u razdoblju od listopada do ožujka, jer je dotok dovodnim tunelom tada najveći. U tom se razdoblju pojavio dosad najveći opaženi vodostaj od 310 centimetara ili 334 centimetara iznad srednje morske razine. U tom periodu promotren je i dosad najniži vodostaj od 14 centimetara ili 38 centimetara iznad srednjega morskog nivoa (Sl. 4).

4. Neke batimetrijsko-geološke značajke dna Baćinskih jezera

Od 1983. se godine, suradnjom Vodoprivrede i Hidrografskog instituta, kontinuirano mjere batimetrijske promjene i neke geološke značajke dna Baćinskih jezera.

Izmjera dna obavlja se na devet poprečnih presjeka Baćinskog akvatorija i to u predjelu jezera Podgora i Očuša. Ishodišne točke poprečnih presjeka stabilizirane su kao poligonske točke na kopnu. Njihov je položaj određen u Državnom koordinatnom sustavu, a visine u apsolutnim kotama nad morem.



Slika 4. Maksimalni, srednji i minimalni vodostaji za razdoblje od 1981. do 1991. godine
 Fig. 4. Maximum, average and minimum water levels during the period from 1981 to 1991

Batimetrijski premjer obavljen je metodom navođenja čamca u liniju. Navođenje se obavljalo teodolitom WILD T-2, a udaljenost od ishodišnih točaka određivala se elektrooptičkim daljinomjerom HYDRODIST. Vrijednosti dubina registrirane su dubinomjerom ATLAS DESSO-10 na grafičkom (analognom) zapisu. Digitalizacijom analognih zapisa dobivene su numeričke vrijednosti dubina, pri čemu je svakoj vrijednosti dubine pridružena udaljenost od odgovarajuće ishodišne točke. Oboreni poprečni presjeci premjera iscrtani su u mjerilu 1:1000/1:100, s upisanim karakterističnim vrijednostima dubina, te oznakama postaja geoloških uzorkovanja.

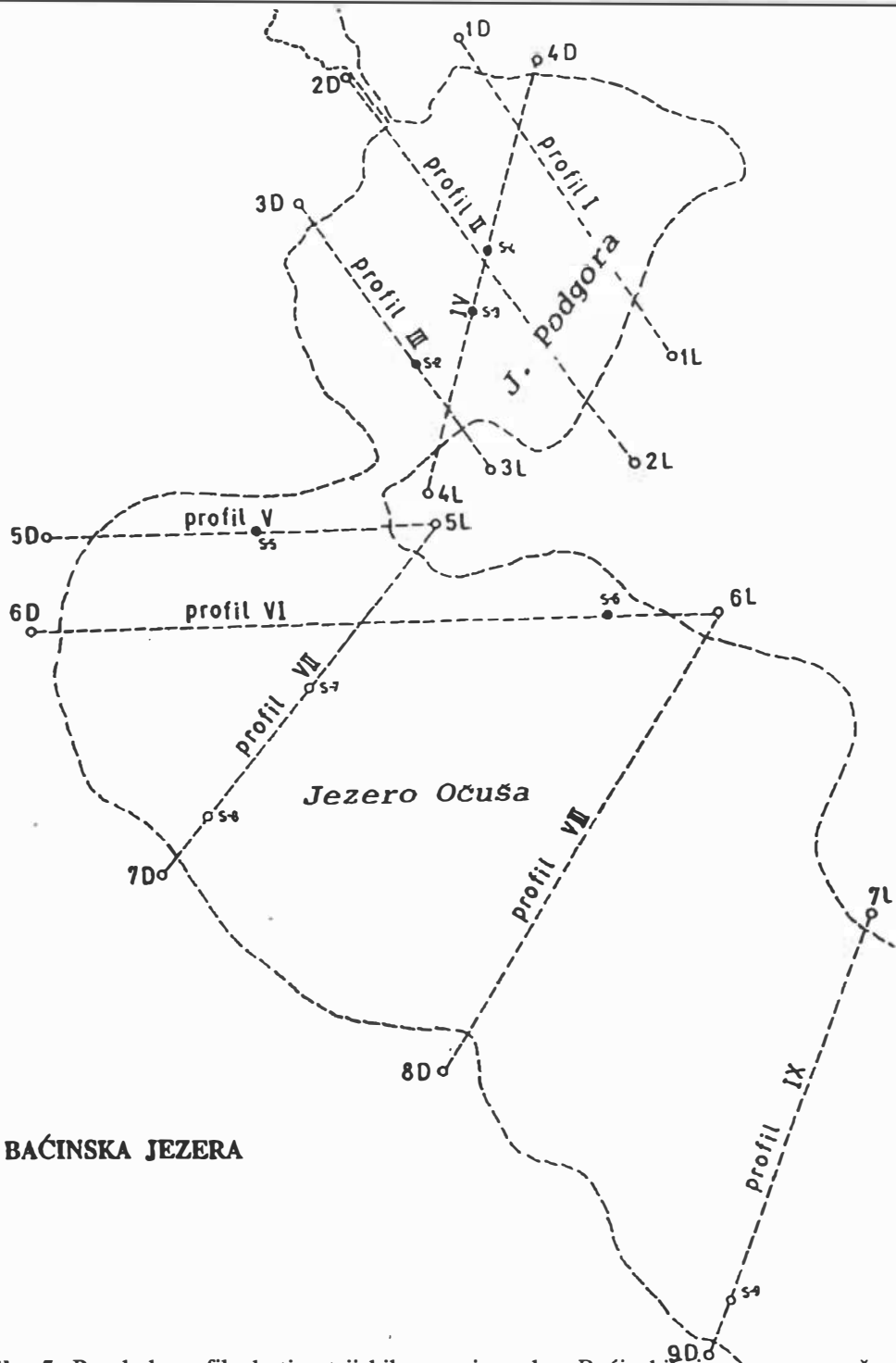
Sondiranje uzoraka obavljeno je na devet postaja udarnom sondom ASKANIA (duljina sonde 50 cm, a promjera cijevi 2.5 cm).

Svi su uzorci analizirani granulometrijski, metodom prosijavanja. Rezultati analiza prikazani su grafički na granulometrijskim dijagramima. Omjeri pojedinih sastojaka jezgri uzoraka određeni su Shepardovim dijagramom, te prikazani grafički i numerički u primjerenim priložima.

Na osnovi analize svih batimetrijskih krivulja moguće je dati neke osnovne značajke promjena dubina akvatorija Baćinskih jezera u proteklih deset godina:

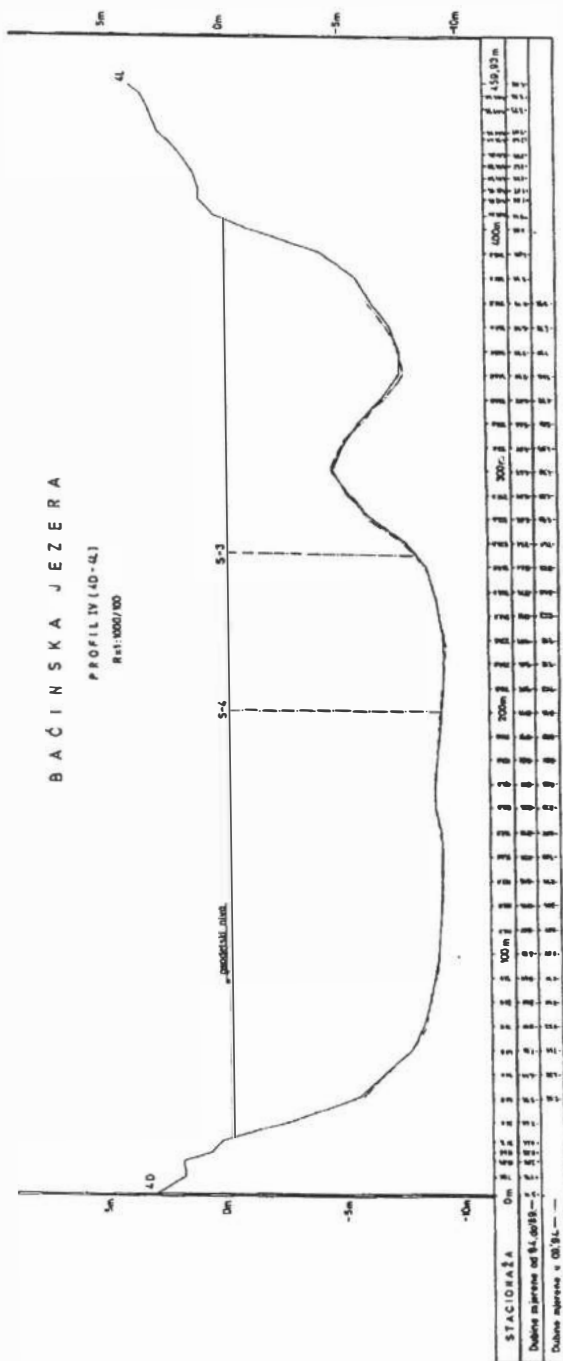
- Evidentan je porast sekundarnoga nanosa koji dovodi do smanjenja dubina Baćinskog akvatorija, što se moglo pretpostaviti puštanjem u rad odvodnoga tunela iz Vrgorskog polja (Sl. 5).

Karakteristike dubina istraživanog područja, međutim, nisu jednoličan porast, što se može provjeriti vrijednostima različitih dubina na istim točkama za gotovo sve obavljene premjere. To znači da ne postoji trend izrazita porasta dubine, već se vrijednosti dubina na istim točkama mijenjaju tijekom godina. Taj fenomen ukazuje na prisutnost



Slika 5. Pregled profila batimetrijskih premjera dna Baćinskih jezera s naznačenim postajama geoloških uzorkovanja

Fig. 5. Profiles of the bathymetric survey in the bottom of the Baćina lakes with geological sampling stations



Slika 7. Usporedba osrednjenih poprečnih presjeka dna (1984-1989) s poprečnim presjekom izmjenjenim 1994. godine
 Fig. 7. Contrasting average values of the bottom profiles (1984-1989) with the profile measured in 1994

intezivnih dinamičkih procesa koji lako premještaju lake materijale sekundarnoga nanosa (Sl. 6 i 7).

- Penetracija sonde, odnosno duljine jezgri, varirala je od 17 do 45 centimetara. Analiza uzoraka po veličini čestica ukazuje na jednolik sastav recentnoga nanosa. Svi uzorci sadrže od 71% do 97% siltnih čestica što ukazuje na postojanost sedimenta siltnoga područja s vrlo niskim sadržajem pjeskovite komponente (Sl. 8 i 9). Podaci analize geoloških uzoraka iz 1994. godine podudaraju se s podacima objavljenim u Studiji sedimentoloških karakteristika Baćinskih jezera iz 1989. godine.

5. Zaključci i preporuke za daljnja istraživanja

Batimetrijski premjeri, te analize sedimentoloških značajki dna akvatorija Baćinskih jezera, pokazuju sljedeće karakteristike:

- Razlike dubina tijekom deset godišnjih kontrolnih premjera pokazuju raznolikost vrijednosti koje variraju od 10 do 50 centimetara i različita su predznaka za iste točke premjera. Trend povećanja ili smanjenja vrijednosti dubina za iste točke nije postojan (tvrdnja je donesena na osnovi batimetrijske analize 9 kontrolnih profila, što očito ukazuje na potrebu sveobuhvatnoga premjera čitavog akvatorija Baćinskih jezera).
- Analiza uzoraka sedimentata, obavljena tijekom protekle godine, kao i spoznaje iz ranijih istraživanja, ukazuju da je proces sedimentacije Baćinskih jezera jednoličan i relativno miran. Promjene u procesu sedimentacije evidentno diktiraju hidrološke prilike širega područja Baćinskih jezera, kao i dinamički procesi čiji intenzitet te prilike također uzrokuju.

Istraživanja značajki akvatorija Baćinskih jezera započeta su davne 1913. godine. Zahvaljujući entuzijazmu projekatnata vodoprivrednih tvrtki sakupljen je cijeli niz podataka vrijednosti nivoa vode u jezerima. Premda su promatranja vodostaja u nekoliko navrata prekidana, stoji činjenica da su to jedini podaci kojima se sada raspolaže.

Batimetrijsko-geološkim premjerima dna Baćinskih jezera (9 poprečnih presjeka) nastojalo se ustanoviti promjene vrijednosti dubina uzrokovane puštanjem u rad pojedinih hidrotehničkih objekata sustava kojem pripada i akvatorij jezera.

Uz dužno poštovanje svima koji su sudjelovali u tim mjerenjima i promatranjima, mora se reći da ona nisu dovoljna. S obzirom na mogućnosti koje pruža akvatorij jezera, zajedno sa svojom širom okolinom u smislu:

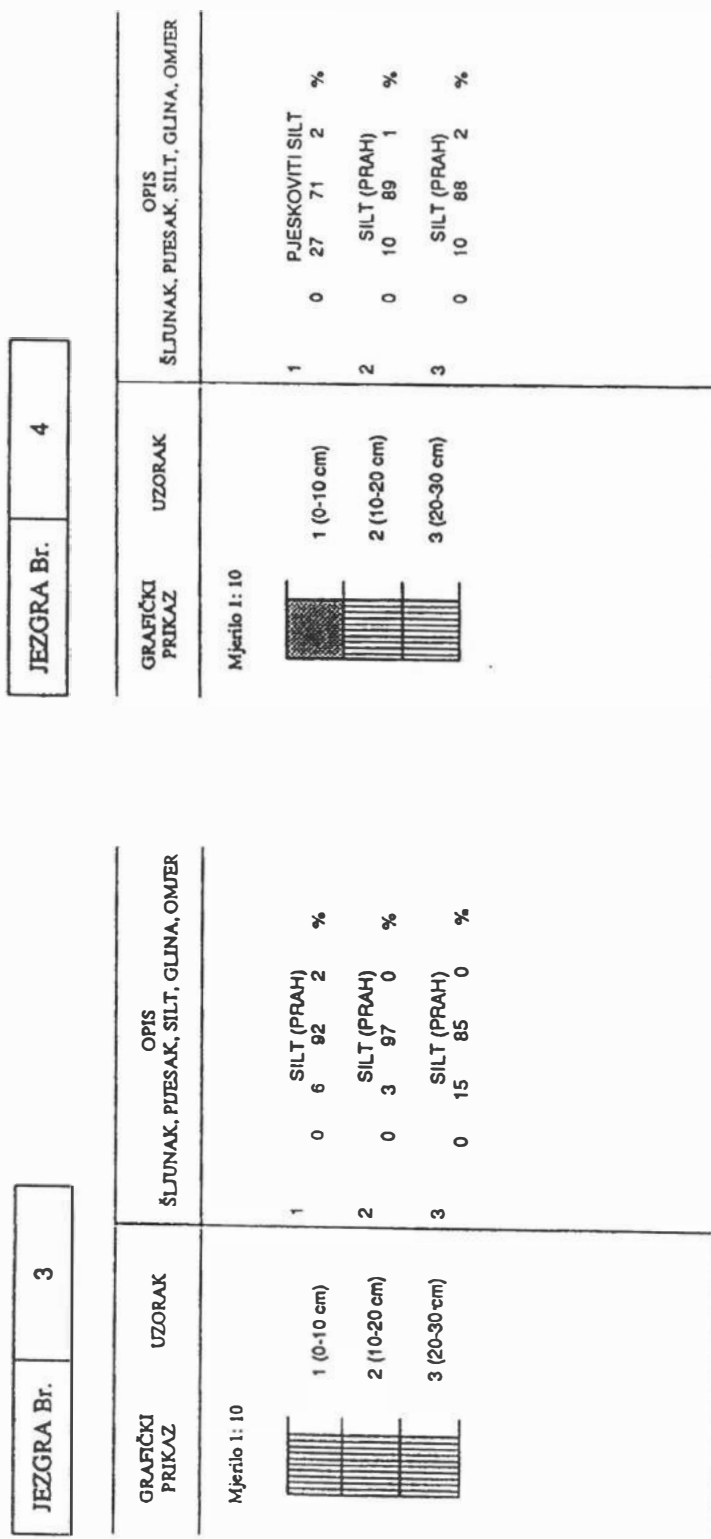
- regulacije vodnoga sustava cjelokupnoga područja od polja Rastok do mora, radi sprečavanja poplava tih polja, kao i radi rješavanja problema moguće potrebitih novih vodozahvata,
- mogućnosti korištenja Baćinskog akvatorija kao rezervata ribogojilišta, te
- potencijalnih mogućnosti razvoja turizma na atraktivnom užem području jezera, autori smatraju potrebitim realizirati namjenski koncipiran višegodišnji eksperiment. Eksperiment bi trebao obuhvatiti kompleksna mjerenja sljedećih parametara:
- Sveobuhvatan batimetrijski premjer dna Baćinskih jezera suvremenim instrumentarijem (dubinomjer, panoramski dubinomjer, geološki dubinomjer),
- za mjerenje promjena nivoa vodostaja, uz vodomjerne letve na više točaka, treba uspostaviti dvije limnografske postaje (jednu u jezeru, a jednu na ulazu u more),
- hidrogeološki dio eksperimenta također bi se proširio i namjenski koncipirao,

- definirala bi se mreža postaja na kojima bi se obavljala višekratna mjerenja temperature, slanosti i gustoće čitavoga vodenog stupca od površine do dna,
- eksperiment bi sadržavao i potrebna mjerenja bioloških i kemijskih parametara, od bakterioloških do onih potrebitih za razvoj ribogojilišta.

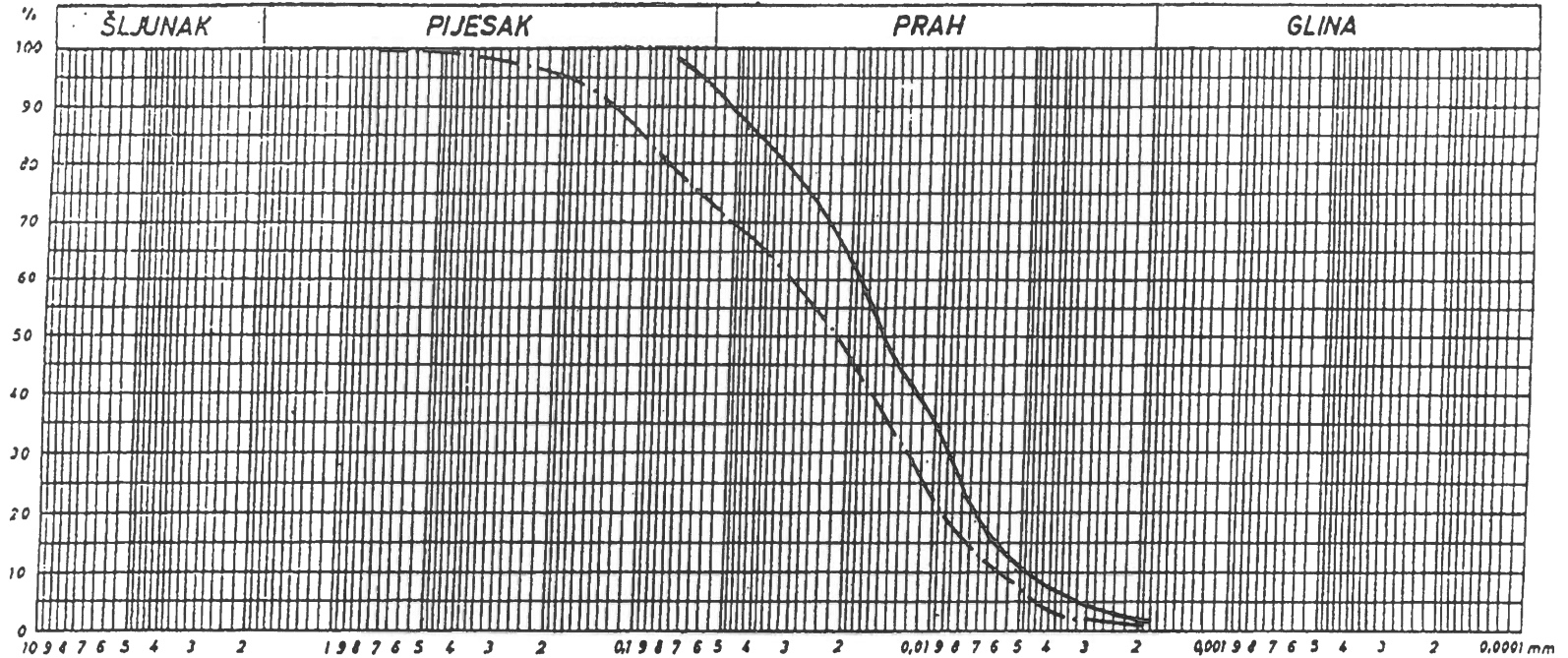
U ovako koncipiranom eksperimentu trebali bi imati udjela svi zainteresirani subjekti. Nakon dogovora partnera, te osiguranja financijskih sredstava, sastavio bi se kompletan program istraživanja i vrijeme njegova provođenja. Takvo bi sveobuhvatno istraživanje moglo poslužiti i kao prototip za istraživanje drugih krških područja sličnih geoloških i hidroloških karakteristika.

Literatura

1. Zaštitni objekti za obranu od poplava na vodnom području dalmatinskih slivova, studija RO Opće vodoprivredno poduzeće, OOUR Projekt, Split, 1982.
2. Analiza vodnog režima Baćinskih jezera, studija RO Opće vodoprivredno poduzeće, OOUR Projekt, Split, 1983.
3. Bonacci, O. i Švonja M. Promjene vodnog režima baćinskih jezera, Građevinar br. 2, Zagreb, 1984.
4. Zbornik Društva inženjera i tehničara, Split, 1958.
5. Idejno rješenje - Melioraciono uređenje polja Rastok, RO Opće vodoprivredno poduzeće, OOUR Projekt, Split, 1988.
6. Rezultati hidrografskog praćenja i sedimentoloških istraživanja dna Baćinskih jezera, RO Opće vodoprivredno poduzeće, OOUR Projekt, Split, 1990.
7. Jelavić, A.. Priroda krša i krških polja, Split, 1982.,168 p.
8. Rezultati sedimentoloških istraživanja dna Baćinskih jezera (studija), HI, Split 1989.
9. Rezultati hidrografsko-geološke izmjere akvatorija Baćinskih jezera, DHI, Split, izvještaj 1994.



Slika 8. Primjer granulometrijske analize uzoraka na postajama S-3 i S-4
 Fig. 8. Granulometric analysis of samples taken at the stations S-3 and S-4



POSTAJA	————	S-2			
KOORDINATE		X =	4 770 987.20	Y =	6 453 907.65
POSTAJA	- - - - -	S-4			
KOORDINATE		X =	4 770 902.29	Y =	6 454 020.65
GRANULOMETRIJSKI PARAMETRI					

OCEANOGRAFSKI ODSJEK D H I geološki laboratorij	
IZRADIO:	
PREGLEDAO:	
IZRAĐENO:	DIJAGRAM br.

Slika 9. Granulometrijski dijagram dvaju različitih uzoraka dna jezera Podgora (siltno i pjeskovito siltno područje)

Fig. 9. Granulometric diagram of two different samples (silty area and sandy silt area)

Tema 9.
ISTRAŽIVANJE I MJERE
ISTRAŽIVANJA NA JADRANU



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Nenad Leder, Ante Smirčić, Zvonko Gržetić

R 9-01

Istraživanje morskih struja i optimalno lociranje podmorskog ispusta otpadnih voda u području ušća rijeke Cetine

SAŽETAK: *U ovom radu opisani su rezultati eksperimenta mjerenja morskih struja obavljenog pri određivanju optimalne lokacije podmorskog ispusta otpadnih voda Omiša.*

Poznavajući opće karakteristike morskih struja kanalnih područja, te uvažavajući topografiju morskog dna i obale u Bračkom kanalu ispred Omiša, odabrane su dvije pozicije za sidrenje strujomjernih postaja. Jedna je bila udaljena 0.4 M od obale, a druga 1 M. Iako je prostorna udaljenost ovih dviju strujomjernih postaja malena, značajke morskih struja su potpuno različite. Na poziciji bliže obali oko 50 % strujanja je usmjereno k obali, a na poziciji dalje od obale samo oko 17 %. Rezultati mjerenja morskih struja znanstveno su opravdanje znatno većih financijskih troškova potrebnih za polaganje cjevovoda na lokaciji koja je za oko 0.6 M udaljena od obale.

KLJUČNE RIJEČI: *morske struje, ispus kolektora otpadnih voda, zaštita okoliša.*

Investigation Of Currents And Optimum Sewer Location In The Cetina River Mouth Area

ABSTRACT: *This paper deals with the results obtained from a current measurement experiment, which was carried out when determining the optimal sewer location near Omiš.*

Taking into consideration general characteristics of currents in the channel areas as well as topography of the seabed and coast in the channel of Brački Kanal in front of Omiš, two positions were selected for mooring the current meter stations. Their distance from the coast was 0.4 m and 1 m, respectively. In spite of the small spatial distance between the two current meter stations, characteristics of currents are quite different. At the station which is closer to the coast, about 50% of circulation is directed toward the coast, while at the station farther from the coast only it is 17%.

KEY WORDS: *currents, sewer, environmental protection*

1. Uvod

Zagađenje mora može se definirati kao antropogeno unošenje energije i supstancije u morsku sredinu, pri čemu nastaju promjene kemijskih i fizičkih svojstava morske vode, flore i faune, te geoloških svojstava morskog dna i obale. Veće zagađenje mora može dovesti u opasnost čovjekovo zdravlje, kao i onemogućiti iskorištavanje mora u svim aspektima.

Zbog intenzivnog urbanog i industrijskog razvoja obalnog područja posljednjih desetljeća, zagađenje mora postaje svakodnevno, ponekad vrlo neugodan problem. Oceanološkim istraživanjima taj se problem nastoji riješiti, naročito u slučajevima kada se u obalnoj zoni planiraju izgraditi objekti koji predstavljaju potencijalnog zagađivača. Štoviše, u takvim slučajevima oceanografska istraživanja predstavljaju i zakonsku obvezu (Zakon o zaštiti okoliša, NN 82/94; Pravilnik o izradi studije o utjecaju na okolinu, NN 31/84).

Najveći zagađivači mora su kućanske otpadne vode i industrijske otpadne vode. Da bi otpadne vode što manje zagađivale morsku sredinu, grade se kolektori otpadnih voda, raznim se metodama otpadne vode pročišćavaju, a pročišćene otpadne vode se izbacuju u more preko podmorskih ispusta koji su s kolektorom povezani cjevovodom. Cilj ovog rada je da ukaže na važnost istraživanja morskih struja radi optimalnog određivanja lokacije podmorskih ispusta otpadnih voda. Stoga će se opisati rezultati eksperimenta obavljenog pri određivanju lokacije podmorskog ispusta omiških otpadnih voda.

2. Osnovne značajke morskih struja u priobalju

Poznavanje značajki morskih struja u nekom akvatoriju od velikog je značenja za velik broj djelatnosti, a posebno za hidrotehničko-ekološke projekte pri određivanju lokacija podmorskih ispusta otpadnih voda.

Da bi se što bolje razumjele karakteristike polja strujanja u određenom akvatoriju, potrebno je nešto reći o osnovnim silama uzročnicama morskih struja. Glavne sile uzročnice su (Defant, 1961):

1. Sila koja nastaje zbog horizontalnih razlika u gustoći mora - **gradijentske struje**;
2. Plimotvorna sila koja uzrokuje **struje morskih dobi**, te
3. Sila potiska vjetra koja nastaje djelovanjem tangencijalne napetosti vjetra na površinu mora - **struje drifta**.

Osim sila uzročnica, na strujanje znatno utječu dimenzije, te topografske karakteristike obale i morskog dna određenog bazena.

S obzirom na dinamiku mora, obalno područje se u osnovi razlikuje od otvorenog mora zbog utjecaja obalnog zida. Strujanje prema obali ne može se nastaviti u kopno i mora se prilagoditi obalnoj prepri. Osim toga, izrazite promjene dubine mora u području obalnog šelfa uzrokuju dodatnu promjenljivost morskih struja.

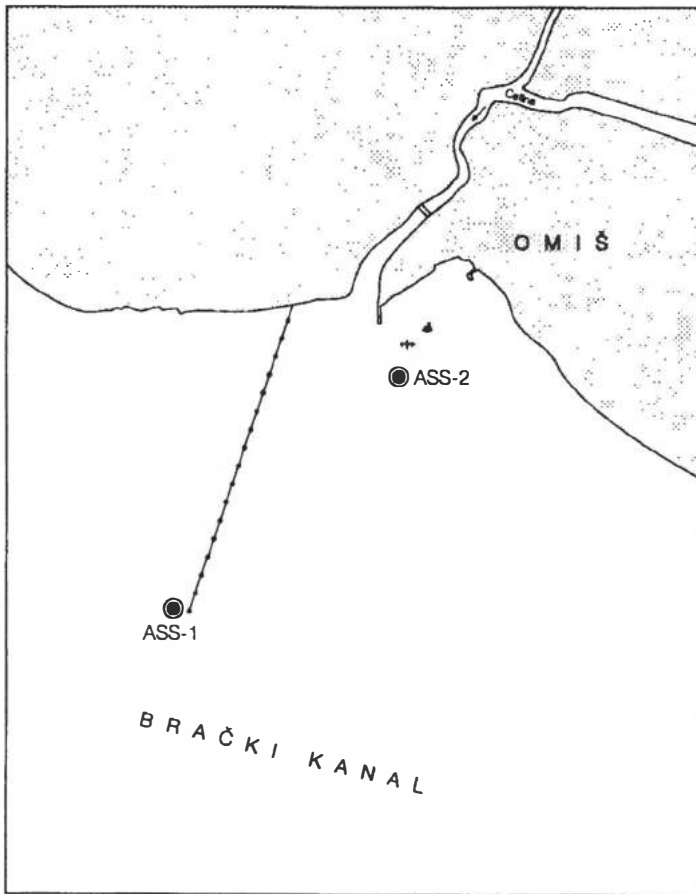
Dosadašnje spoznaje o odlikama morskih struja u priobalju istočne obale Jadranskog mora pokazuju raznolikost i promjenljivost strujanja. Najvažniji je čimbenik, koji utječe na strujanje u obalnoj zoni, vjetar (Gačić, 1980.; Zore-Armanda, 1986.; Smirčić et al., 1989). Utjecaj vjetra na dinamiku mora je sezonskog karaktera, kako zbog klimatskih prilika, tako i zbog vertikalne stratifikacije gustoće mora koja može uvjetovati horizontalnu ili vertikalnu kompenzaciju.

Srednje brzine morskih struja uz istočnu obalu Jadranskog mora su male i kreću se od 10 do 15 cm/s, a najčešći smjer strujanje je NW, tj. ulazno dužobalno strujanje (Zore-Armanda, 1986).

3. Metode mjerenja i obrade morskih struja za podmorski ispušt otpadnih voda Omiš

Mjerenja morskih struja obavljena su na dvije strujomjerne postaje ASS-1 i ASS-2 (slika 1) u vremenskom razdoblju od 6. do 21. travnja 1994. godine. Strujomjerna postaja ASS-1 nalazi se na udaljenosti 1 M od obale, a postaja ASS-2 je 0.4 M udaljena od obale i nalazi se istočno od ušća rijeke Cetine. Pozicije strujomjernih postaja ASS-1 i ASS-2 odabrane su zbog istraživanja utjecaja rijeke Cetine i topografije morskog dna na značajke polja morskih struja u središnjem dijelu Bračkog kanala (predviđeno područje ispusta kolektora otpadnih voda).

Potrebno je istaći da se obje strujomjerne postaje nalaze u području s razvijenom piknoklinom, što je također vrlo važan uvjet za lociranje ispusta otpadnih voda (Leder i Vukojević, 1991.).



Slika 1. Shema strujomjernih postaja u Bračkom kanalu.

Fig. 1. Locations of current meter stations in Brački kanal

Na postaji ASS-1 strujomjeri su bili postavljeni na dubinama 3, 25 i 50 m, a na postaji ASS-2 na dubinama 3 i 30 m. Na žalost, površinski strujomjer na postaji ASS-1 (3 m) nije registrirao podatke kvalitetno.

Korišteni su strujomjeri AANDERAA RCM-4 i RCM-7, a smjer i brzina struje, te temperatura mora mjereni su u vremenskom intervalu od 5 minuta. Karakteristike strujomjera su sljedeće:

Senzori:

Brzina struje	Tip ROTOR Raspon od: 1.0 do 250 cm/s Točnost: ± 1 cm/s Početna brzina: 1 cm/s
Smjer struje	Tip MAGNETSKI KOMPAS Rezolucija: 0.35° Točnost: $\pm 5^\circ$
Dubina	Tip BOURDONOVA CIJEV Točnost: $\pm 1\%$ dubine
Temperatura mora	Tip TERMISTOR Raspon: $10-32^\circ\text{C}$ Točnost: $\pm 0.1^\circ\text{C}$
Način zapisa:	Magnetska traka i DSU 2990
Napajanje:	9 V (amagnetska baterija)

Za analizu karakteristika morskih struja koristiti će se sljedeći parametri:

- maksimalna, srednja i minimalna brzina,
- rezultatni vektor i faktor stabilnosti,
- satni vektori,
- hodogram (progresivni vektorski dijagram),
- ruža struja, te
- rotacijska spektralna analiza (Gonella, 1972; Leder, 1992.).

4. Rezultati i diskusija

ASS-1

Osnovni statistički parametri morskih struja, izmjerenih na postaji ASS-1, prikazani su u tablici 1. Potrebno je napomenuti da se smjer morske struje označava kao smjer kuda vodena masa struji (za razliku od vjetra).

Maksimalne izmjerene brzine struja su 21 cm/s u intermedijarnom sloju (25 m) i 15 cm/s u pridnom sloju (50 m), a srednje vrijednosti brzine su 7.3 cm/s (25 m) i 4.7 cm/s (50 m).

Rezultantno strujanje je u smjeru WNW na dubini 25 m i WSW na dubini 50 m. Međutim, rezultatni vektori ne predstavljaju značajne veličine zbog malog faktora stabilnosti (tablica 1).

Satni vektori morskih struja prikazani su na slici 2, odakle se vidi da u oba sloja prevladavaju NW i W, te E i SE struje.

Ruža struja pokazuje da u intermedijarnom sloju (25 m) prevladavaju W (36 %) i NW (20 %) struje, kao i u pridnom sloju (50 m) gdje se W strujanje javlja u 37 %, a NW u 15 % slučajeva (slika 3). Ako se uzme u obzir smjer protezanja Bračkog kanala, tada se iz ruže struja zaključuje da je 17 % struja usmjereno prema obali.

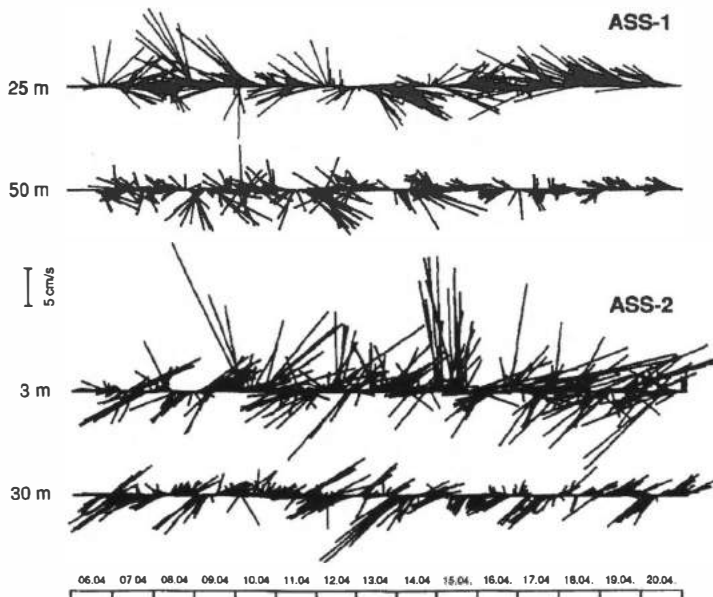
Opisane značajke strujnog polja na postaji ASS-1 najzornije se vide iz hodograma morskih struja koji se dobije sukcesivnim spajanjem pojedinačnih vektora morskih

struja (progressivni vektorski dijagram), te na taj način pokazuje stazu kretanja morske vode. Na slici 4 prikazan je hodogram morskih struja u pridnenom sloju postaje ASS-1.

Spektralna analiza morskih struja pokazuje da su energije strujanja na svim periodima nešto veće na dubini 25 m nego na dubini 50 m (slika 5). Također, na dubini 25 m dugoperiodički uzročnici morskih struja (vjetar, gradijentske struje, protok rijeke Cetine) znatno su većih energija od plimnih oscilacija, dok su na dubini od 50 m energije plimnih oscilacija otprilike istog reda veličine kao i energije dugoperiodičkih uzročnika morskih struja.

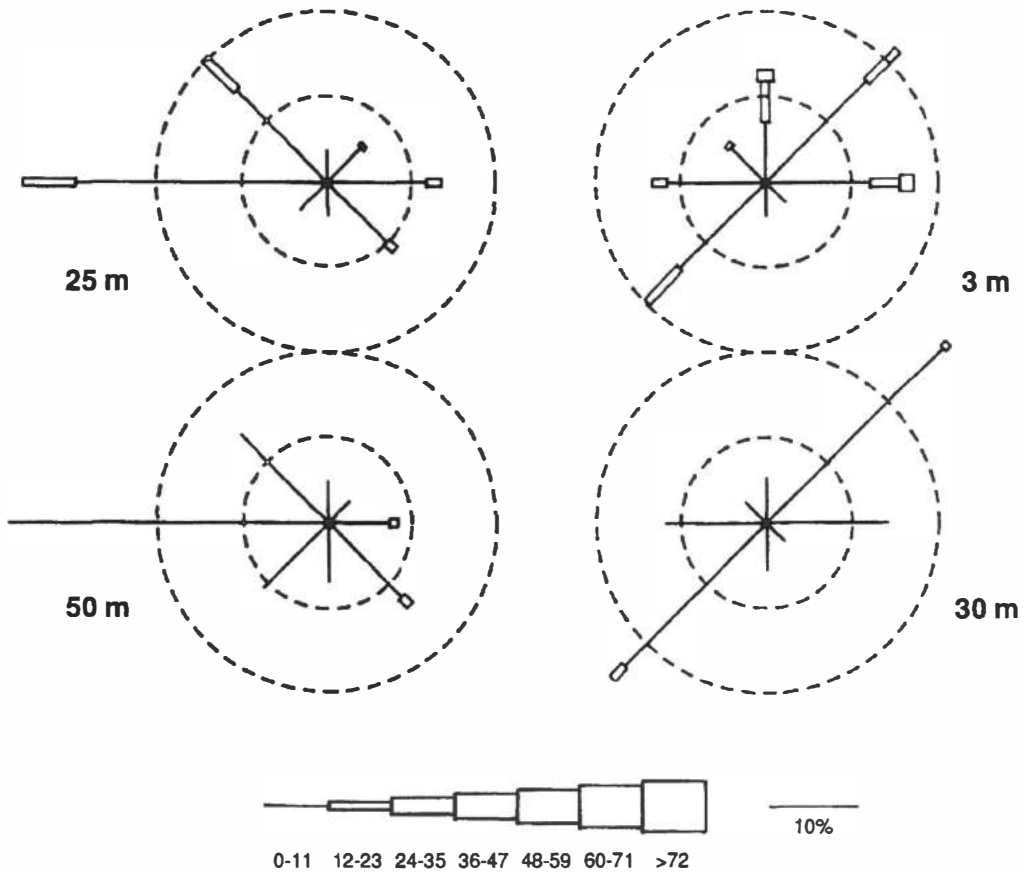
Tablica 1. Osnovni statistički parametri morskih struja izmjenjenih na postajama ASS-1 i ASS-2 u vremenskom razdoblju od 06. do 21. travnja 1994. godine.

DUBINA (m)	ASS 1		ASS 2	
	25	50	3	30
MAKSIMALNA BRZINA (cm/s)	21.0	15.0	39.0	24.0
SREDNJA BRZINA (cm/s)	7.3	4.7	8.7	5.0
MINIMALNA BRZINA (cm/s)	1.0	1.0	1.0	2.0
REZULTANTNI VEKTOR ($\text{cm s}^{-1}/\text{deg}$)	2.87/288	1.26/248	1.90/20	0.40/217
FAKTOR STABILNOSTI (%)	39.10	27.00	21.90	8.10



Slika 2. Satni vektori morskih struja na postajama ASS-1 i ASS-2 u vremenskom razdoblju od 06. do 20. travnja 1994.

Fig. 2. Mean hourly current vector time-series for stations ASS-1 and ASS-2 from April 6 to April 20, 1994.



Slika 3. Ruže struja za postaje ASS-1 i ASS-2.

Fig. 3. Current roses for stations ASS-1 and ASS-2.

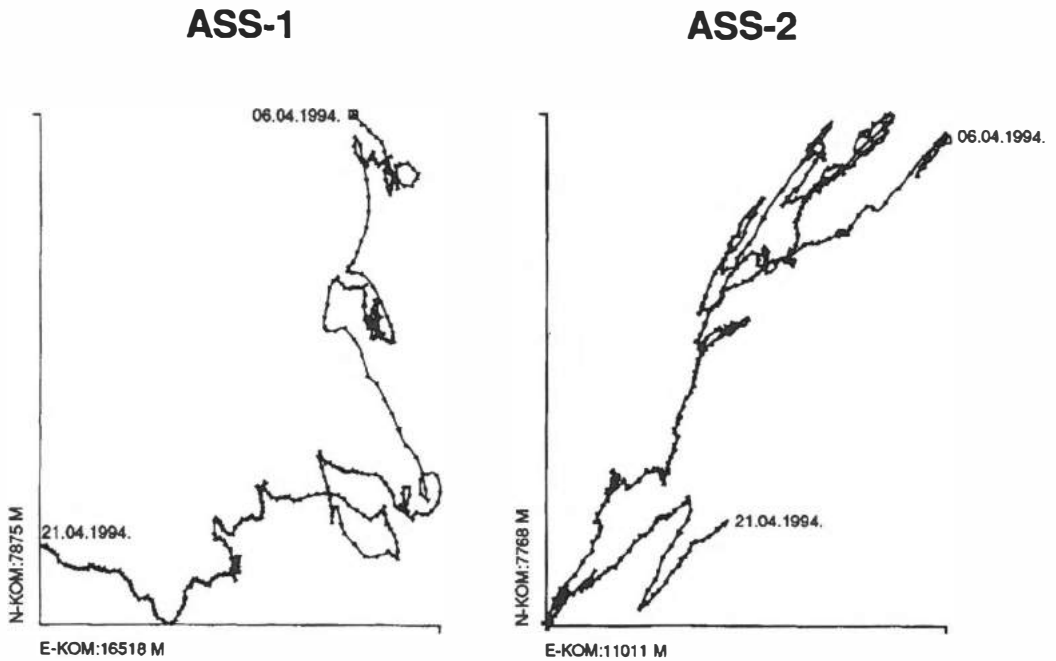
ASS-2

Srednje vrijednosti brzine struja (tablica 1) su 8.7 cm/s u površinskom sloju (3 m) i 5.0 cm/s u pridnenom sloju (30 m), a maksimalne izmjerene vrijednosti brzine su 39 cm/s (3 m) i 24 cm/s (30 m).

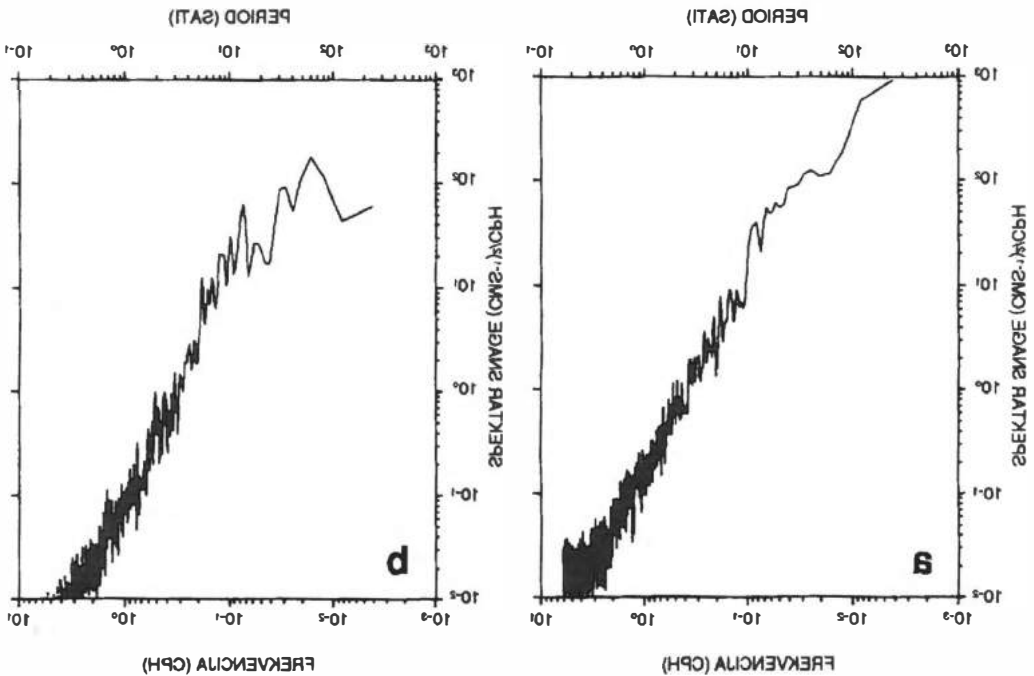
Rezultantno je strujanje na postaji ASS-2 u smjeru NNE na dubini 3 m i SW na dubini 30 m. Međutim, rezultatni vektori ne predstavljaju značajne veličine zbog malog faktora stabilnosti (tablica 1).

Na slici 2 prikazani su satni vektori morskih struja, a ruža struja je prikazana na slici 3. Vidi se da u površinskom sloju, prevladavaju NE (22 %) i SW (20 %) strujanja, što je karakteristika i pridnenog sloja (NE 29 % i SW 26 %). Također, iz ruže struja pridnenog sloja uočljivo je da je oko 50 % strujanja usmjereno k obali. Da je najveća čestina strujanja u pridnenom sloju usmjerena uzduž osi, okomite na obalu, najbolje se vidi iz hodograma struja (slika 4).

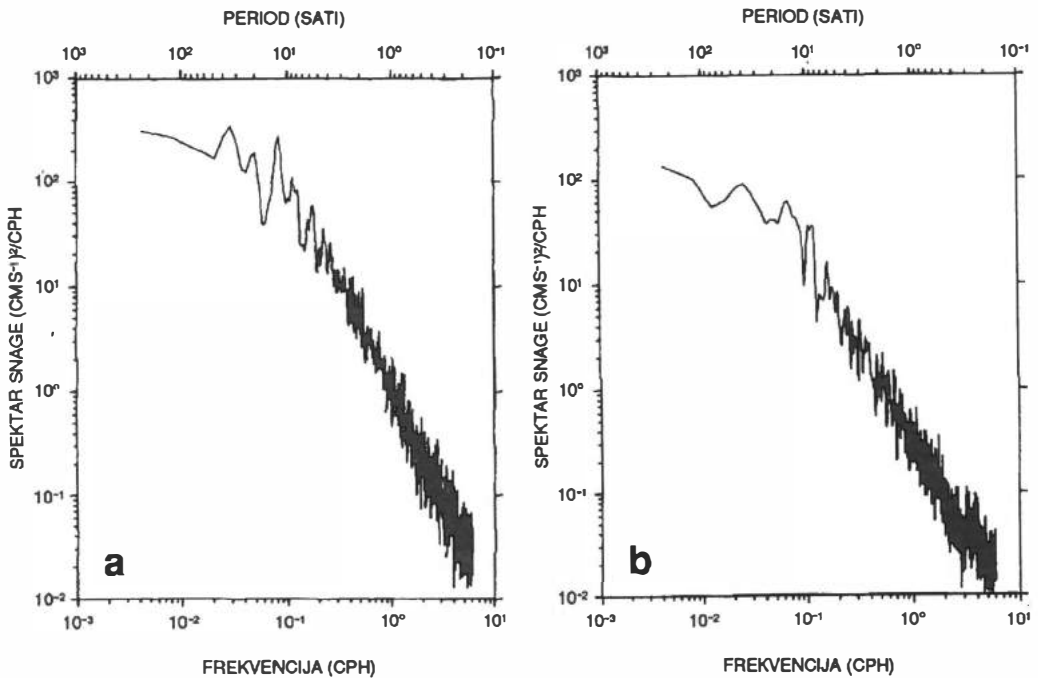
Spektralna analiza morskih struja pokazuje da su energije dugoperiodičkih uzročnika morskih struja približno istih vrijednosti kao i kratkoperiodičke plimne oscilacije u površinskom i pridnenom sloju (slika 6), te da su energije strujanja u površinskom sloju znatno veće nego u pridnenom sloju u svim periodima (moguć utjecaj rijeke Cetine).



Slika 4. Hodogrami pridnenih morskih struja na postajama ASS-1 (50 m) i ASS-2 (30 m).
 Fig. 4. Progressive vector diagrams of the bottom currents at stations ASS-1 (50 m) and ASS-2 (30 m).



Slika 5. Totalni spektri snage morskih struja za dubinu 25 m (a) i 50 m (b) - postaja ASS-1.
 Fig.5 Total spectra of current time series at depths of 25 (a) and 50 m (b) - station ASS-1.



Slika 6. Totalni spektri snage morskih struja za dubinu 3 m (a) i 30 m (b) - postaja ASS-2.
Fig.6 Total spectra of current time series at depths of 3 m (a) and 30 m (b) - station ASS-2.

5. Zaključci

Rezultati mjerenja morskih struja u Bračkom kanalu na postajama ASS-1 i ASS-2, koja su obavljena u cilju optimalnog određivanja lokacije podmorskog ispusta omiških otpadnih voda, upozoravaju na bitno različite značajke morskih struja na vrlo maloj prostornoj udaljenosti.

Na postaji ASS-1, koja je udaljena od obale oko 1M, i u pridnenom i u intermedijarnom sloju prevladava W i NW strujanje, koje je usmjereno od obale Omiša prema otvorenom dijelu Bračkog kanala. Samo 17 % strujanja je usmjereno prema obali, tj. postoji vrlo mala vjerojatnost da otpadne vode iz ispusta kolektora otpadnih voda dospiju na obalu.

Na postaji ASS-2, koja je znatno bliže obali (oko 0.4 M) od postaje ASS-1, prevladavajuće je NE i SW strujanje u površinskom i pridnenom sloju. To je strujanje okomito na obalu. Oko 50 % strujanja je usmjereno prema obali, što je vrlo nepovoljno za lokaciju podmorskog ispusta otpadnih voda.

Ta razlika u značajkama strujnog polja najvjerojatnije je posljedica blizine postaje ASS-2 ušću rijeke Cetine, te topografije morskog dna i obale.

Dakle, kao općeniti zaključak može se reći da su rezultati mjerenja morskih struja znanstveno opravdanje za znatno veće financijske troškove potrebne za polaganje cjevovoda do lokacije ASS-1, nego što bi to bilo do lokacije ASS-2. Stoga je nužno istaknuti da je kod svih projekata određivanja lokacija podmorskih ispusta otpadnih voda potrebno, između ostaloga, i obaviti mjerenja morskih struja.

Zahvala Zahvaljujemo se gospođici Matildi Uvodić, dipl.inž. koja je izradila programe za računalnu obradu podataka, kao i gospodinu Tonču Jeličiću, inž. za grafički dizajn slika. Posada i/b "HIDRA" nam je bila od velike pomoći pri terenskim radovima, za što im se najljepše zahvaljujemo.

Literatura

- Defant, A., Physical oceanography, Vol.1, Pergamon Press, 1961, 729 pp.
- Gačić, M., Neke karakteristike odgovora obalnog područja Jadranskog mora na utjecaj atmosferskog poremećaja, Acta Adriatica, Vol. 21 (2), Split, 1980, 239.-254.
- Gonella, J., A rotary-component method for analysing meteorological and oceanographic vector time series, Deep-Sea Research, Vol. 19, 1972, 833.-846.
- Leder, N., Primjena spektralne analize, analize sistema i rotacione spektralne analize u oceanologiji i meteorologiji, Hidrografski godišnjak 1990-1991, 1992, Split, 19.-36.
- Leder, N. i N. Vukojević, Utjecaj termokline na odabiranje lokacija za ispušt otpadnih voda, Hidrografski godišnjak 1989, 1991, Split, 61.-69.
- Pravilnik o izradi studije o utjecaju na okolinu, Narodne novine 31/84.
- Smirčić, A., M. Zore-Armanda i M. Gačić, Cirkulacija vode u Kaštelanskom zaljevu, Hidrografski godišnjak 1988, 1989, Split, 29-37.
- Zakon o zaštiti okoliša, Narodne novine 82/94.
- Zore-Armanda, M., Karakteristike strujanja istočno-jadranskog priobalja, Pomorski zbornik 24, Rijeka, 1986, 387.-406.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Damir Viličić, Nenad Jasprica, Marina Carić

R 9-02

Estuarij rijeke Omble: "cvjetanje" fitoplanktona, eutrofikacija i zaštita

SAŽETAK: Izvor rijeke Omble najvažniji je izvor pitke vode za grad Dubrovnik. Neposredno nakon izvora rijeka se ulijeva u more i tvori mali, stratificirani estuarij, koji je uz okolni krajolik poznat pod nazivom Rijeka dubrovačka. Slabo su poznata oceanografska i ekološka svojstva estuarija, pa bi buduća istraživanja trebala biti preduvjet za adekvatnu zaštitu i pravilno odlučivanje o urbanističkim zahvatima uz obale Rijeke dubrovačke. U radu je pokazano da u proljeće, u svibnju, smiruju se vremenske prilike, smanjuje se protok rijeke Omble, nastupa fizičko-kemijska stabilizacija vodenog stupca i javlja se cvjetanje fitoplanktona kao rezultat prethodne eutrofikacije.

Estuariji kao i većina plitkih zaljeva duž naše obale, biološki su vrlo vrijedna područja čije prirodne resurse i genofond treba zaštititi na taj način da se u njima: 1) obale ne nasipavaju (zidaju); 2) ne ispuštaju otpadne vode, 3) spriječi buduća gradnja marina (koje bi trebalo graditi u već naseljenim uvalama s izgrađenim lukama, gdje je to moguće).

KLJUČNE RIJEČI: estuarij, eutrofikacija, fitoplankton, cvjetanje, zaštita prirode

The Ombla River Estuary: Phytoplankton "Blooming", Eutrophication and Protection

ABSTRACT: The Ombla River spring is the most important source of potable water for the City of Dubrovnik. Immediately downstream the spring the river flows into the sea and forms a small stratified estuary which, together with the surrounding area, bears the name of Rijeka Dubrovačka. The oceanographic and ecological characteristics of the estuary are poorly known, so the future research works should be a precondition for adequate protection and correct decision-making on the town-planning activities by the Rijeka Dubrovačka coast. The paper shows that in spring, in May, the weather conditions stabilize, the Ombla flow decreases, the physical and chemical stabilization of the water column occurs, and the phytoplankton starts blooming as the result of the previous eutrophication.

The estuary, similar to the majority of shallow bays along the Croatian coast, is biologically valuable area with natural resources and genofund requesting protection in the way that 1) the shore is not backfilled (bricked), 2) the waste waters are not discharged, 3) the future construction of marinas is prevented (whenever possible, they should be built in already inhabited coves with built ports).

KEY WORDS: estuary, eutrophication, phytoplankton, blooming, nature protection

Damir Viličić, Nenad Jasprica, Marina Carić, Institut za oceanografiju i ribarstvo,
Laboratorij za ekologiju planktona, Dubrovnik

Uvod

Estuarij rijeke Omble, pripada malim estuarijima, dužina mu je 4 km, a širina 200 do 300 m. Neposredno iza izvora (2.3 m nad morem), rijeka prelazi u estuarij. U vanjskom je dijelu estuarij povezan s Gruškim zaljevom (dubrovačkom lukom), čime nastaje kompleksni hidrološki sustav Y-oblika. Zbog malih varijacija između plime i oseke, koje iznose do 128 cm (6), estuarij pripada skupini stratificiranih estuarija. Dotok slatke vode kroz krški izvor rijeke Omble varira između 2.3 i 112 m³ s⁻¹ (godišnji prosjek = 26), s maksimalnim vrijednostima za vrijeme kišovitih mjeseci, studenog i prosinca, kada se u Dubrovniku može zabilježiti 28-396 mm oborine (17).

Publicirani podaci o estuariju rijeke Omble su malobrojni (1, 8, 26); osobito radovi koji analiziraju hidrološko-ekološke odnose (13). Veći broj ekoloških istraživanja do sada je obavljen u obližnjem Gruškom zaljevu (2, 12, 23, 24, 27).

U radu se analizira utjecaj hidrografskih čimbenika na razvoj gustih populacija ("cvjetanje") fitoplanktona" u svibnju i u lipnju 1993.godine, što je novi prilog poznavanju prirodnih svojstava i intenziteta eutrofikacije u estuariju rijeke Omble.

Metode

Mjerenja su obavljena na dvije postaje u estuariju: na vanjskom pristaništu u marini u Komolcu (Postaja 1) te na potezu između svjetionika na rivi u staroj Mokošici i postaje, nasuprot njoj za ukrcaj goriva za plovila (Postaja 2)(sl. 1).

Vertikalni profil temperature i slanosti određen je uz pomoć sonde Hydrobios LF 191. Uzorci fitoplanktona uzimani su u doba "cvjetanja" 26. svibnja 1993. godine Niskinovim crpcem (5 litara) s nekoliko dubina koje su odabrane prema termohalnim vrijednostima očitanim uz pomoć sonde, posebno s obzirom na položaj halokline. Uzorci su fiksirani uz pomoć 2 % otopine formaldehida. Uzet je također uzorak bez dodatka fiksativa. Gustoća populacije fitoplanktona određena je brojenjem stanica uz pomoć inverznog mikroskopa (Olympus İMT-2)(22), uz povećanje od 100x i 400x.

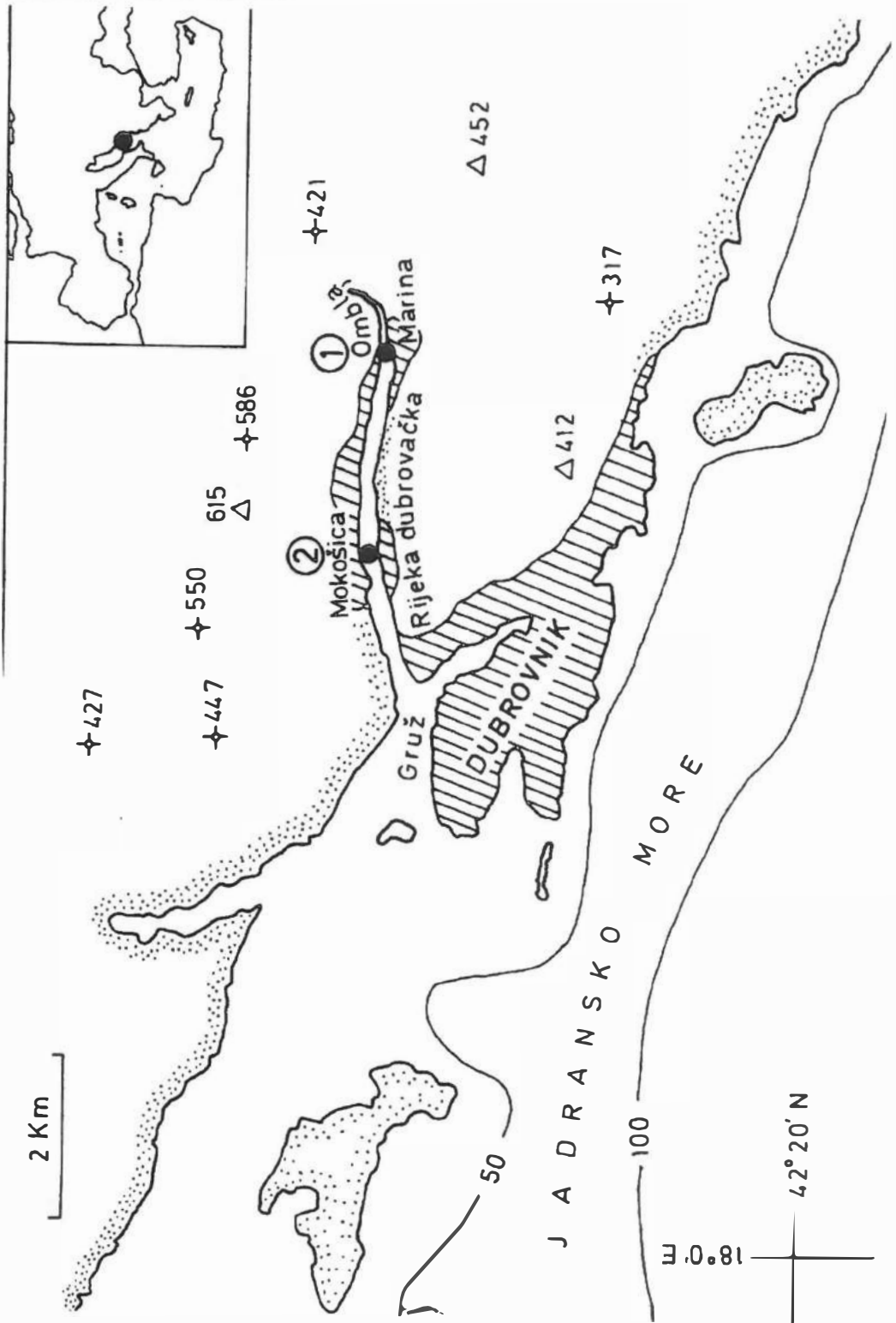
Koncentracija hranjivih soli mjerena je standardnim metodama (9, 20) uz pomoć spektrofotometra (Parkin-Elmer Lambda 15). Koncentracija klorofila-*a* određena je uz pomoć spektrofluorometra Turner 112 (16). Poduzorci (500 ml) su filtrirani pomoću Whatman GF/F filtera s promjerom pora od 0.7 μm.

Rezultati i diskusija

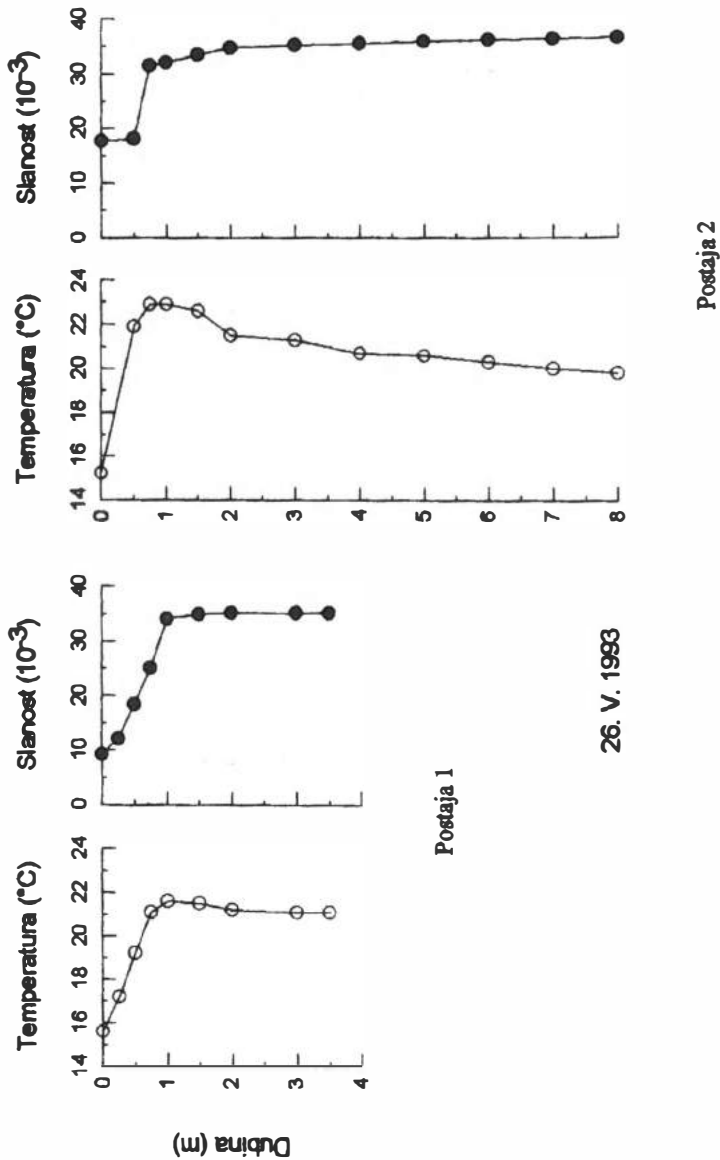
U svibnju 1993., u marini u Komolcu (postaja 1), snažan gradijent temperature i slanosti utvrđen je u sloju od 25-75 cm dubine (sl. 2A). Slanost površinskog bočatog sloja bila je 8.4‰, a temperatura 15.6 °C. Utvrđen je temperaturni maksimum neposredno ispod termokline.

U srednjem dijelu estuarija (postaja 2), donji rub halokline i termokline izmjeren je nešto pliće; na dubini od 75 cm (sl. 2B). Površinska slanost bila je 15.3‰, što je za 7_ više nego na postaji 1. Potpovršinski temperaturni maksimum bio je izraženiji nego na postaji 1. U lipnju, vertikalnu stratifikaciju pojačava sve izraženija termoklina, iako je haloklina u relativnom slabljenju (sl. 3).

U razdoblju od 25. do 27. svibnja 1993., u estuariju je zabilježen intenzivan razvoj fitoplanktona. Površina središnjega dijela estuarija u podnevnim satima poprimala mutnožutu i zelenkastu boju. "Cvjetanje" su izazvale guste populacije dviju fitoplanktonskih vrsta. Prva alga *Prorocentrum redfieldii* Bursa (sin. *Prorocentrum trisetinum* Schiller) pripada skupini neotrovnih (mikro)dinoflagellata; ona je razvila gustu populaciju od 53 milijuna stanica po litri mora (dužina stanica 25-30 μm, sl. 4). Stanice te morske vrste podnose širok raspon slanosti i pokreću se prema svjetlosti, pa su



Sl. 1. Položaj postaja u estuariju rijeke Omble.
Fig. 1. Position of stations in the Ombla estuary



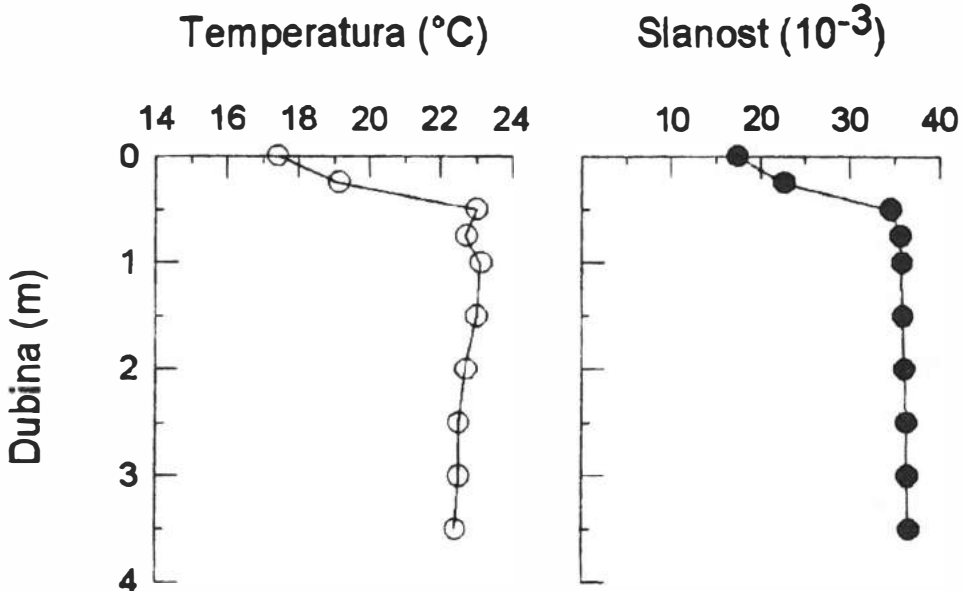
Sl. 2. Vertikalna raspodjela termohalinih svojstava vodenog stupca u srednjem dijelu estuarija rijeke Omble, za vrijeme cvjetanja fitoplanktona u svibnju 1993. godine.
 Fig. 2. Vertical distribution of termohaline characteristics in the middle reach of the Ombla estuary, during the phytoplankton bloom in May 1993.

uspjele na postaji 2 probiti oštru haloklinu i doći do same površine (tab. 1). Guste populacije doimale su se poput žuto obojenih "oblaka" veličine od nekoliko metara do nekoliko stotina metara. U kasnijim popodnevnim satima, s opadanjem intenziteta svjetlosti glavna populacija se spuštala prema morskom sloju i iščezavala s površine. *Prorocentrum redfieldii* je neritička vrsta, čije "cvjetanje" je do danas već utvrđeno u Mediteranu (3). To je vrsta koja ubrzano raste uz svjetlost jaču od 6000 lx, temperaturu 20-30 °C i slanost 31.5-35.0‰, a uz prisutnost vitamina B₁₂ (14).

Druga prisutna vrsta s manjim stanicama (12 m) pripada skupini zelenih bičaša iz roda *Tetraselmis*, a gusta populacija od 46 milijuna stanica po litri, davala je površini zelenu boju na postaji 2. Fizičko-kemijska nestabilnost površinskoga sloja na postaji 1 uzrokovala je nakupljanje stanica prisutnih vrsta ispod halokline.

Potpovršinski temperaturni maksimum bio je izraženiji na postaji 2, vjerojatno zbog toga što brojne suspendirane čestice (stanice fitoplanktona i čestice detritusa) jače apsorbiraju Sunčevu toplinsku energiju nego molekule vode (10).

Uzroci su eksplozivnog razvoja ("cvjetanja") fitoplanktona u Rijeci dubrovačkoj: 1) Fizičko kemijska stabilnost vodenog stupca, koja nastaje smirivanjem vremenskih prilika u svibnju, kada protok vode u rijeci Ombli opada ispod 20 m³ sek⁻¹ (sl. 5). 2) Pojačan donos alohtonog organskog materijala i hranjivih soli, ortofosfata, nitrata i silikata u doba proljetnih kiša u prvoj dekadi travnja i sredinom svibnja 1993 (sl. 5, tabl. 1). 3) Povećano oslobađanje fosfornih i dušičnih spojeva zbog mikrobiološke razgradnje kanalizacijskih otpadnih voda iz okolnih naselja. Naime, zbog redukcije električne energije i raspada kanalizacijskog sustava (zbog posljedica prethodnih ratnih razaranja) otpadne vode su se ispuštale izravno u estuarij. Rezultat takvog poremećaja najprije je izražen u vrijeme proljetnog zagrijavanja površine estuarija.



Postaja 1, 25.VI.1993.

Sl. 3. Vertikalna raspodjela termohalinih svojstava vodenog stupca u gornjem dijelu estuarija rijeke Omble, u lipnju 1993. godine

Fig. 3. Vertical distribution of termohaline characteristics in the upper reach of the Ombla estuary, in June 1993.

Tablica 1. Vertikalna raspodjela gustoće populacija (stanica l⁻¹) dinoflagelata *Prorocentrum redfieldii* (P. red.), zelene alge *Tetraselmis* (Tetras.), primarne pelagičke biomase (koncentracije klorofila a), koncentracije hranjivih soli i kisika u estuariju rijeke Omble, 26. svibnja 1993. godine.

Table 1. Vertical distribution of population density (cells l⁻¹) of the dinoflagellate *Prorocentrum redfieldii* (P. red.), green flagellate *Tetraselmis* (Tetras.), primary pelagic biomass (concentration of chlorophyll a), concentration of nutrients and oxygen in the Ombla estuary, on May 26, 1993.

Postaja 1 (Marina-Komolac)

Dubina (m)	P. red. (10 ³ st./l)	Tetras. (10 ³ st./l)	Chl. a (μg/l)	NO ₃ (μmol/l)	PO ₄ (μmol/l)	SiO ₄ (μmol/l)	O ₂ (ml/l)
0	60	250	1,02	9,38	0,32	30,04	6,51
0.75	3800	800	1,06	8,77	0,32	17,14	7,03
3	910	880	1,08	0,63	0,19	3,05	6,05

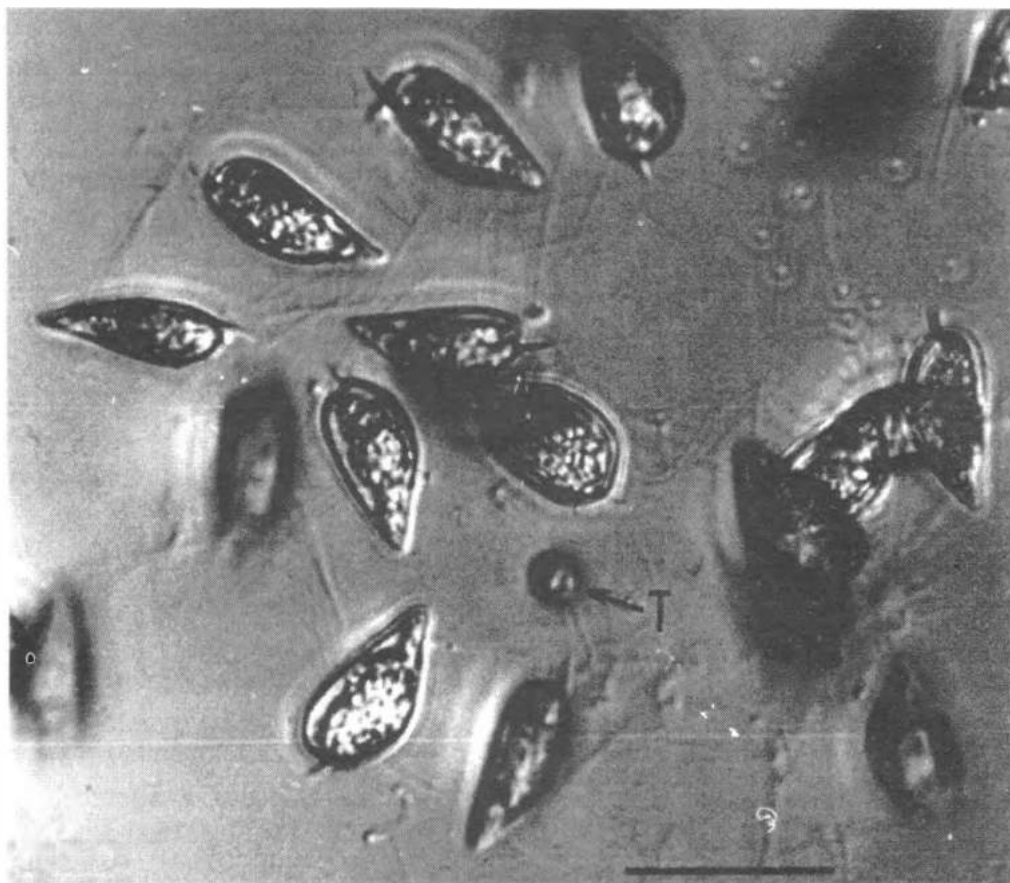
Postaja 2 (Mokošica)

Dubina (m)	P. red. (10 ³ st./l)	Tetras. (10 ³ st./l)	Chl. a (μg/l)	NO ₃ (μmol/l)	PO ₄ (μmol/l)	SiO ₄ (μmol/l)	O ₂ (ml/l)
0	53200	46300	23,43	2,73	1,17	20,55	7,58
5	18	1200	1,11	0,27	0,01	2,73	5,49
10	1100	290	0,16	0,16	0,09	2,44	5,46

U području halokline nakupljaju se otopljeni teški metali, toksične organske molekule, suspendirane čestice, pa i patogeni mikroorganizmi iz kanalizacije. U tom se sloju zadržavanje štetnih čestica i tvari može produžiti, a horizontalni se transport prema otvorenom moru može usporediti. Jednim dijelom čestice također tonu kroz haloklinu i kontaminiraju dno i organizme koji tamo žive.

Specifična oceanografska svojstva u estuariju određuju distribuciju otopljene organske i anorganske tvari te suspendiranih čestica. U stratificiranim estuarijima, koji sadrže više slatke vode, debljina halokline može iznositi samo nekoliko centimetara, a položena je dublje ispod površine. Rijeka Ombla donosi u estuarij relativno malo vode pa je haloklina položena relativno plitko. U stabilnim uvjetima (bez vjetera), snažan termohalini gradijent otežava miješanje slatke i morske vode. Otopljena i suspendirana tvar nakuplja se uz haloklinu zbog smanjene brzine strujanja i utjecaja gradijenta gustoće. Uz haloklinu se nakuplja suspendirana tvar koju donosi riječna voda (alohtoni materijal), nakupljaju se i stanice slatkovodnog fitoplanktona ako ga rijeka doprema u dovoljnoj količini (25). Mogu se, također, akumulirati i morske vrste s pokretnim stanicama, koje pokazuju pozitivnu fototaksiju, što je slučaj s vrstom *Prorocentrum redfieldii* u svibnju 1993. Estuariji su poznati biotopi u kojima se javljaju "cvjetanja" fitoplanktona (18, 21).

U estuariju rijeke Omble još su prije ustanovljene povećane koncentracije polikloriranih ugljikovodika u školjkašima, zbog otpadnih voda iz brodogradilišta u Mokošici, iz dubrovačke luke i iz tvornice boja Dubravka u Gružu (26). Koncentracija

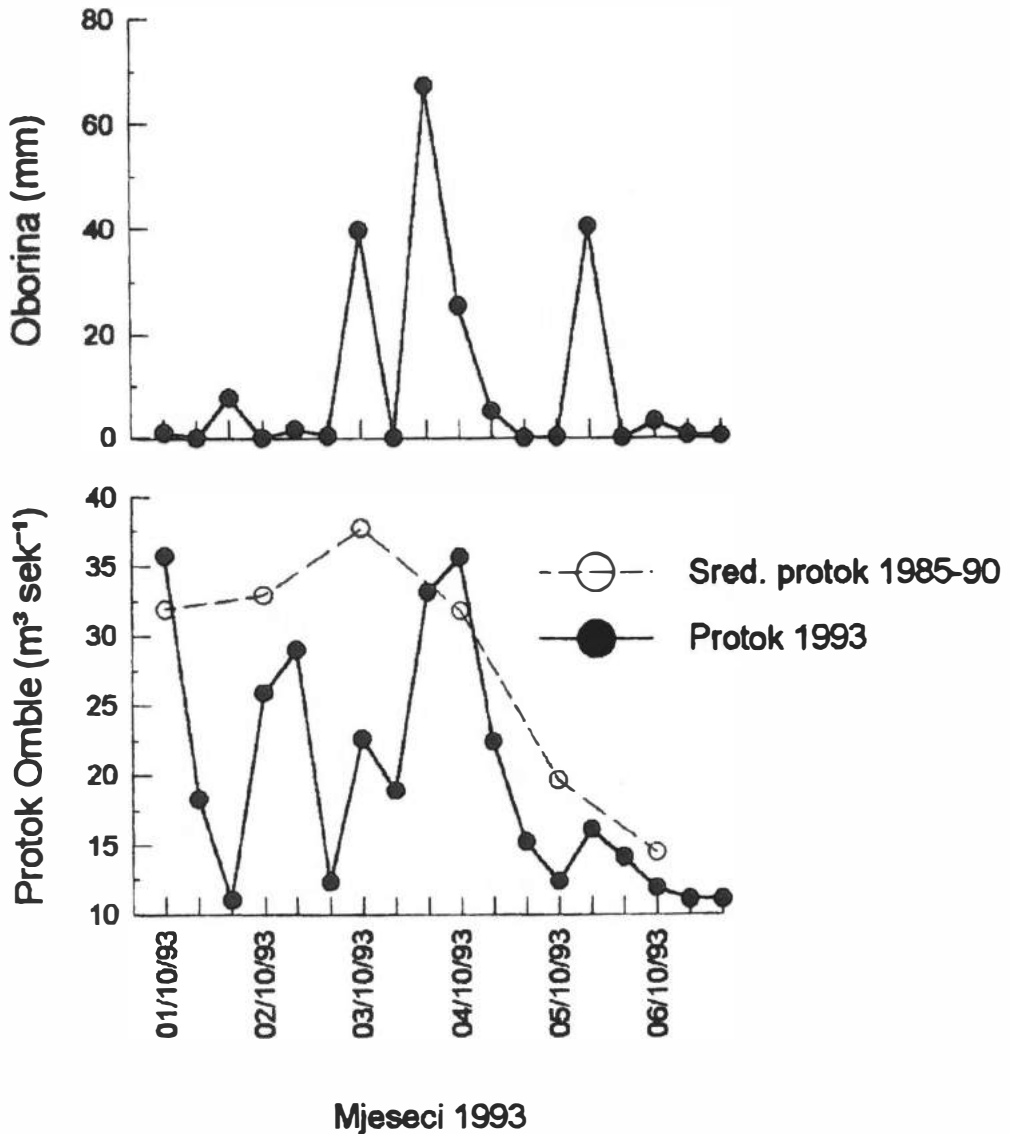


Sl. 4. Stanice dinoflagelata *Prorocentrum redfieldii* Bursa i zelenog flagelata *Tetraselmis* sp. (T) za vrijeme cvjetanja u estuariju rijeke Omble, u svibnju 1993. godine. Mjerilo označava 30 m.

Fig. 4. The dinoflagellate *Prorocentrum redfieldii* Bursa and the green flagellate *Tetraselmis* sp (T) during the bloom in the Ombla estuary, in May 1993. Bar denotes 30 m.

spojeva iz grupe DDT bila je niska. Neobjavljeni podaci o koncentraciji teških metala u Gruškom zaljevu pokazuju povećane vrijednosti cinka, olova i bakra.

Estuariji su osjetljiva područja obalnog mora u kojima se akumuliraju planktonski organizmi (5, 13), a u sloju u dnu mora i u sedimentu njihovi trajni stadiji (ciste) preživljavaju nepovoljne uvjete života. U određeno doba godine, iz trajnih stanica razvijaju se nove generacije planktonskih organizama, čije se populacije šire prema drugim dijelovima obalnoga mora (4). U estuarije zalaze mnoge ribe na mriješćenje, a tamo je također vrijedan sastav bentoskih organizama. Zbog toga su estuariji i mnogi plitki zaljevi najvrjednija područja, čije biološke resurse i genofond treba zaštititi. Estuarije bi u načelu trebalo zaštititi na taj način da se u njima: 1) obale ne nasipavaju (zidaju); 2) ne ispuštaju kanalizacijske vode, 3) kontrolira funkcioniranje postojećih marina. Marine bi trebalo graditi u već naseljenim uvalama s izgrađenim lukama, gdje je to moguće, dok netaknute zaljeve treba čuvati za dobrobit čovječanstva i turizma. Normalno razvijene zajednice biljnih i životinjskih organizama osiguravaju ravnotežno stanje u prirodi i preduvjet su zdravoga čovjekovog okoliša (15).



Sl. 5. Hodogram oborine i protok rijeke po dekadama, od siječnja do lipnja 1993. godine (prema podacima Hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske 1994).
 Fig. 5. The record of precipitation, and river flow, for the January-June 1993 period.

Zaključak

Složeni hidrološki uvjeti u stratificiranom estuariju otežavaju transport (razrjeđenje) otpadnih voda. Pojačan dotok hranjivih soli rijekom Omblom i otpadnim vodama, te naknadna fizičko-kemijska stabilizacija vodenog stupca, izazvali su intenzivno "cvjetanje" fitoplanktona u estuariju rijeke Omble, u svibnju 1993. godine. To pokazuje kako postojeći kanalizacijski sustav, kada funkcionira, efikasno čuva obalno more od pretjerane eutrofikacije.

Estuariji su, kao i većina plitkih zaljeva duž naše obale, biološki vrijedna područja, čije prirodne resurse i genofond treba zaštititi tako da se u njima: 1) obale ne nasipavaju (zidaju); 2) ne ispuštaju otpadne vode, 3) onemogućiti gradnja marina (koje bi trebalo graditi u već naseljenim uvalama s izgrađenim lukama, gdje je to moguće).

Literatura

- (1) Benović, A., Gamulin, T., Hure, J., Kršinić, F., Skaramuca, B., 1978.: Zooplankton communities of the NW Adriatic inshore waters near Dubrovnik. IV Journées Étud. Pollutions Antalya, 391.-398.
- (2) Carić, M., Jasprica, N., Viličić, D., 1992.: Nutrient and chlorophyll *a* concentrations in Gruž and Mali Ston Bays (Southern Adriatic). Rapp. Comm. int. Mer Médit. 33., 367.
- (3) Fudge, H., 1977.: The "red tides" of Malta. Mar. Biol. 39., 381.-386.
- (4) Hansson, L.-A., 1993.: Factors initiating algal life-form shift from sediment to water. Oecologia 94., 286.-294.
- (5) Heiskanen, A.-S., 1993.: Mass encystment and sinking of dinoflagellates during a spring bloom. Mar. Biol. 116., 161.-167.
- (6) Hidrografski institut ratne mornarice, 1986.: Istrivački radovi za podmorsku trasu kolektora otpadnih voda u Koločepskom kanalu. Hidrografski institut ratne mornarice, Split, 72 pp.
- (7) Hidrometeorološki zavod republike Hrvatske, 1994.: Banka hidroloških podataka i klimatološki mjesečni izvještaj za stanicu Dubrovnik, za godinu 1993. Zagreb.
- (8) Institut za oceanografiju i ribarstvo Split-Dubrovnik, 1978.: Ekološka proučavanja šireg područja Dubrovačke rijeke. IOR, Split,
- (9) Ivančić, I., Degobbis, D., 1984.: An optimal manual procedure for ammonia analysis in natural waters by the indophenol blue method. Water Res. 18.: 1143.-1147.
- (10) Kahru, M., Leppanen, J.-M., Rud, O., 1993.: Cyanobacterial blooms cause heating of the sea surface. Mar. Ecol. Prog. Ser. 101, 1.-7.
- (11) Krom, M.D., Kress, N., Brenner, S., 1991. Phosphorus limitation of primary productivity in the eastern Mediterranean Sea. Limnol. Oceanogr. 36., 424.-432.
- (12) Kršinić, F., 1987. Tintinnines (*Ciliophora*, *Oligotrichida*, *Tintinnina*) in eastern Adriatic bays. Estuar. Coast. Shelf Sci. 24.: 527.-538.
- (13) Kršinić, F., 1987. On the ecology of tintinnines in the Bay of Mali Ston (eastern Adriatic). Estuar. Coast. Shelf Sci. 24, 401.-418.
- (14) Nishijima, T., Hata, Y., Yamauchi, S., 1989. Physiological ecology of *Prorocentrum triestinum* (na japanskom). Nipp. Suis. Gakkaishi 55., 2009.-2024.
- (15) Odum, E.P., 1969.: The strategy of ecosystem development. Science 164, 262-270.
- (16) Parsons, T.R., Maita, Y., Lalli, C.M., 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford: 173 pp.
- (17) Penzar, B., Penzar, I., 1980.: O položaju i uzrocima ekstrema u godišnjem hodu oborine u Hrvatskoj. Geogr. Glasnik 41/42., 27.-48.
- (18) Riaux-Gobin, C., Lassus, P., 1989.: Conditions hydroclimatiques d'une eau colorée a *Gonyaulax spinifera* dans une ria du Nord-Finistere. Bot. Mar. 32.-, 491.-498.

- (19) Simon, M., Cho, B.C., Azam, F., 1992.: Significance of bacterial biomass in lakes and the ocean: comparison to phytoplankton biomass and biogeochemical implications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 86., 103.-110.
- (20) Strickland, J. D. H., Parsons, T.R., 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Fish. Res. Bd. Can. Bull.* 167., 1.-310.
- (21) Tyler, M.A., Seliger, H.H., 1978.: Annual subsurface transport of a red tide dinoflagellate to its bloom area: water circulation patterns and organism distribution in the Chesapeake Bay. *Limnol. Oceanogr.* 23., 227.-246.
- (22) Utermöhl, H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik. *Mitt. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol.* 9.: 1.-38.
- (23) Viličić, D., 1985.: Phytoplankton study of southern Adriatic waters near Dubrovnik for the period from June 1979 to July 1980. *CENTRO* 1/2., 35.-56.
- (24) Viličić, D., 1989.: Phytoplankton population density and volume as indicators of eutrophication in the eastern part of the Adriatic Sea. *Hydrobiologia* 174., 117.-1132.
- (25) Viličić, D., Legović, T., Žutić, V., 1989.: Vertical distribution of phytoplankton in a stratified estuary. *Aquat. Sci.* 51., 31.-46.
- (26) Viličić, D., Picer, N., Picer, M., Nazansky, B., 1978.: Monitoring of chlorinated hydrocarbons in biota and sediments of south Adriatic coastal waters. *IVes Journées Etud. Pollutions, C.I.E.S.M., Antalya*, 143.-146.
- (27) Viličić, D., Kršinić, F., Carić, M., Jasprica, N., Bobanović-Čolić, S., Mikuš, J., (u tisku): Plankton and hydrography in a moderately eutrophic eastern Adriatic bay (Gruž Bay). *Hydrobiologia*.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Josip Čiček

R 9-03

Zdravlje i okolina u Mediteranskom području

SAŽETAK: *Prikazuju se rezultati sinteze podataka i raspoloživih informacija iz brojnih specijaliziranih međunarodnih agencija o kvaliteti i zagađenju mora i hrane iz mora na Mediteranskom području.*

Razmatraju se njihovi mogući i opaženi učinci na zdravlje.

Daje se kraći prikaz monografije Svjetske zdravstvene organizacije na tu temu i preporuke eksperata za daljnje sustavno praćenje ove problematike u mediteranskim zemljama, pa tako i u nas.

KLJUČNE RIJEČI: *zagađenje mora i hrane, Mediteran, zdravlje*

Public Health and Environment in the Mediterranean Region

ABSTRACT: *The results are presented of synthesis of data and available information obtained from various specialized international agencies on sea and sea food quality and pollution in the Mediterranean region.*

The possible and observed effects on public health are discussed.

A brief presentation is given of the WHO publication on the topic and the recommendations of experts for future systematic monitoring of the issue in the Mediterranean countries, including Croatia.

KEY WORDS: *sea and sea food pollution, Mediterranean, health*

Uvod

Općenito se smatra da se većina socioekonomskih posljedica zbog zagađenja mora mogu pokazati kao neposredni ili dugotrajni učinci na ljudsko zdravlje. U tom smislu dva su glavna vida izloženosti čovjeka zagađenju u morskoj okolini: direktni kontakt sa zagađenom morskom vodom ili pijeskom, uključujući i unošenje zagađivača u organizam pri plivanju ili kupanju, te uživanje kontaminirane hrane iz mora.

Brojne su bolesti povezane s kupanjem u zagađenim vodama. To su od bakterijskih bolesti salmoneloze (uključujući tifus i paratifus), šigeloze (bacilarna dizenterija), kolera, virusne bolesti kao hepatitis A i E, bolesti uzrokovane brojnim ostalim enterovirusima, gastroenteritisi uzrokovani bakterijama i virusima i bolesti uzrokovane raznim parazitima životinja, kao što su amebna dizenterija. Zabilježene su i bolesti očiju, uha, kože i gornjega dijela respiratornog sustava.

Za razliku od bolesti probavnoga sustava, mnogo su veće opasnosti obolijevanja od konzumiranja sirove ili nedovoljno kuhane hrane (naročito školjaka), nego od rekreacije u kontaminiranoj vodi. Brojne su epidemije raznih bolesti povezanih s konzumiranjem kontaminiranih školjaka zabilježene u raznim dijelovima svijeta. Također se bilježi i znatan broj pojedinačnih individualnih slučajeva obolijevanja na isti način. U područjima gdje dolazi uslijed specifičnih uvjeta do prekomjernog bujanja nekih vrsta algi («crvena plima» ili «cvjetanje mora») stvaraju se toksini koji kontaminiraju školjke, a ukoliko ih konzumira čovjek, ti toksini mogu uzrokovati razne »nove« bolesti, najčešće paralitičko trovanje školjkama i dijarealno otrovanje školjkama.

Perzistentne kemikalije kao što su živa i ostali metali, DDT, PCB i brojni drugi organski spojevi, u moru, akumuliraju se u biljkama i životinjama i prolaze kroz hranidbene lance postizujući u velikih predatora visoke koncentracije. Učinci na čovjeka uzimajući tako kontaminirane hrane iz mora obično su dugoročni, a ovisе o samoj kemijskoj tvari, količini i učestalosti unošenja. Općenito se najveći rizik smanjuje u onih osoba koje konzumiraju hranu iz mora dva do tri puta u tjednu. Rizik varira o vrsti hrane iz mora, koncentraciji zagađivala i stanju osobe koja konzumira takvu hranu. Klinički slučajevi zabilježeni su u populaciji koja je bila isključivo na dijetalnoj prehrani hranom iz mora. Relativno umjereni učinci prođu vjerovatno nezabilježeni ili se ne pripisuju hrani iz mora, ili su u većini slučajeva (kao što je to slučaj sa živom) simptomi nespecifični i stanje se može lako pripisati drugim uzrocima.

Osim navedenih učinaka esencijalnih resursa morskoga okoliša na ljudsko zdravlje i život, sve navedene evaluacije moraju uzeti u obzir da je morski okoliš i vrlo značajan zaštitni izvor zaštitnih čimbenika koji mogu ulaziti u međukacije sa opasnim agensima, a u nekim slučajevima i neutralizirati ih.

Mediteran ima površinu vode oko 3 milijuna km² i volumen preko 4 milijuna km³. zatvoreno je to more povezano preko Gibraltara sa Atlanskim oceanom, Crnim morem preko Dardanela i Crvenim morem preko Sueskog kanala. Najveći izlazak i ulazak vode odvija se preko Gibraltara, gdje voda ulazi u površinskim slojevima u Mediteran, a izlazi u Atlantik u intermedijanom sloju (između 200 i 600 metara dubine). Vrijeme izmjene je otprilike 80 godina. Mediteran je siromašan nutrientima ali se zbog donosa nutrijenata rijekama bilježi eutrofikacija u brojnim obalnim područjima. Salinitet je relativno visok (varira od 36% na zapadnom dijelu do 39% na istočnom dijelu). Vrlo su male izmjene vodnih masa između obalnih voda i otvorenih voda.

Otprilike oko 130 milijuna stanovnika boravi trajno uz obale Mediterana, a oko 100 milijuna turista posjećuje mediteransko područje godišnje. Tijekom ljetnih mjeseci more je glavni izvor brojnih rekreacijskih aktivnosti domaćeg pučanstva i turista. Zbog toga su mnoga mjesta i plaže a naročito one u blizini gradova i turističkih naselja prenaseljene i pretrpane, naročito tijekom vikenda. Heterogena populacija na plažama omogućava širenje infekcija.

Rizici po zdravlje u svakom području svijeta mogu biti rezultanta raznih prevalirajućih čimbenika. U mediteranskom području čimbenici odgovorni za naglašene rizike po zdravlje uključuju:

1. Oceanografske čimbenike

Mediteran kao praktički zatvoreno more, ima dugo vrijeme retencije svojih voda i stoga duže zadržava zagađivala. Tvari u površinskom sloju ulaze u Mediteran iz Atlantika kao što su plivajuća zagađivala. Teška zagađivala potonu na sedimente dna. S druge strane istodobno niska stopa izmjene priobalnih i otvorenih voda dovodi do koncentracije zagađivala u priobalnoj zoni, gdje je i njihov glavni učinak.

2. Klimatske čimbenike

Relativno prevalirajuće visoke temperature omogućuju dug period izloženosti morskoj vodi i plažama i pijesku u usporedbi s stanjem u ostalim manje toplim područjima. Zbog toga u zaštiti i pohranjivanju hrane iz mora treba posvetiti mnogo više pažnje.

3. Socioekonomske čimbenike

U mnogim dijelovima mediteranske regije, komunalne otpadne vode i industrijske otpadne vode otpuštaju se netretirane - neobrađene u priobalna područja, ili u njih dospijevaju rijekama. Svemu ovome izložena je populacija od oko 130 milijuna rezidencijalnih stanovnika i oko 100 milijuna turista godišnje. U ljetnim mjesecima intenzivne turističke i rekreacijske aktivnosti velika je konzumacija i hrane iz mora. Heterogenost populacije na plažama uz prenapučenost mnogih plaža olakšavaju širenje infekcija. Kontrola kvalitete morske vode i hrane iz mora variraju od zemlje do zemlje (ukupno je 21 država na Mediteranu), i u nekim slučajevima njihova je kvaliteta kao sredstvo zaštite zdravlja dvojbena.

Tijekom posljednja dva desetljeća opće stanje zagađenja Mediterana bilježi bitna poboljšanja glede legalnih i administrativnih kontrolnih mjera koje su uvedene i primjenjuju se kao i zbog infrastrukturnih investicija u vidu uređaja za pročišćavanje otpadnih voda ili podmorskih ispusta u mnogim obalnim mjestima i gradovima. Godine 1975. sponzoriran je i organiziran MAP Mediteranski Akcioni Plan za sprečavanje zagađenja i kontrolni program od tijela i specijaliziranih agencija Ujedinjenih naroda, a formalno je i prihvaćen od zemalja članica.

Sa znanstvenoga gledišta, ozbiljno problema zagađenja Mediterana bila je utvrđena i evidentna nakon međunarodne konferencije o zagađenju mora naftom, održane u Rimu 1968. godine, kao i tijekom Međunarodne konferencije o zaštiti mora Milano, travanj 1969. Tijekom toga razdoblja intenzivno je porastao broj studija raznih aspekata zagađenja, iako su to studije bile samo fragmentarne naravi i općenito ograničene na obalna područja najčešće u najzagađenijim dijelovima. U cilju dobivanja realne slike općeg stanja glavni problem bila je kontroverza između dviju škola, jedna je opisivala Mediteran kao umirujuće more i druga koja smatra da su vodne mase Mediterana u mogućnosti da asimiliraju ubačene materijale.

Značenje počinjanja s puno organiziranijim pristupom bilo je raspravljeno tijekom FAO Tehničke konferencije o zagađenju mora i njegovim učincima na žive resurse i ribarstvo, održane u Rimu u prosincu 1970. godine. Godinu dana prije toga Opći savjet ribarstva za Mediteran (GFCM) odlučio je da se provede studija o stanju zagađenja Mediterana i poslani su upitnici svim priobalnim zemljama. Odgovori su obrađeni od grupe konzultanata, što je bilo izloženo kao preliminarno izvješće na toj konferenciji. Završno izvješće publicirano je dvije godine kasnije 1972. godine. Mnogi zaključci bazirani su na indirektnim prosudbama, rjeđe nego direktni na mjerenjima, što je ukazivalo na ograničene dostupne podatke.

Te su činjenice inicirale provođenje brojnih studija o zagađenju mora u raznim područjima Mediteranske regije, a što je dovelo do značajnih nacionalnih i međunarodnih aktivnosti provedenih za dobivanje više informacija o stanju. Na nacionalnoj razini ostvarenje programa ubrzano je na nekim sveučilištima i institucijama za istraživanje mora. Na međunarodnoj razini, praktično sve glavne Specijalizirane Agencije Ujedinjenih naroda te ostala međunarodna tijela proširili su svoje istraživačke programe zagađenja, ili su ustanovile nove. Većina tih istraživačkih programa dizajnirana je na individualnoj razini i bez adekvatnih mehanizama i koordinacije među raznim programima.

To je dovelo do potrebe prikladnijih regionalnih i širih programa u cilju utvrđivanja stanja zagađenja Mediterana. U toj fazi nije bilo moguće obuhvatiti primjerice ljudsko zdravlje i morski svijet kako bi se na bazi dobivenih podataka moglo planirati prikladne preventivne mjere i sanacije.

Od 1974. godine završen je zajednički koordinirani program monitoringa zagađenja Metidetana (MED POL faza (a) provoden je od UNEP, FAO, WHO, UNESCO, IOC, WMO i IAEA). Tijekom prvoga sastanka zemalja članica Mediteranskog područja u Barceloni 1975. godine taj je program i formalno prihvaćen od vlada tih zemalja i započet je opsežni program koji je u okviru Mediteranskog akcionog plana (MAP) uključio dvije ostale komponente: legalne instrumente koji povezuju zemlje članice u zajedničkim ili individualnim akcijama u raznim aspektima kontrole zagađenja i socioekonomski program dizajnirani da povezuju razvojne procese za zaštitom okoline (UNEP, 1975).

Tijekom svoje inicijalne faze, od 1975. do 1981. godine, MED POL program sastojao se od brojnih pilot projekata implementiranih u mrežu nacionalnih institucija u Mediteranskim zemljama i koordiniran od relevantnih specijaliziranih agencija UN i UNEP. Tijekom te faze, dva projekta su koordinirana po SZO Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji. Prvi je bio o kontroli kvalitete obalnih voda (WHO/UNEP 1981) u kojem je 30 laboratorija iz 14 Mediteranskih zemalja regularno kontroliralo mikrobiološke parametre i s njima povezane parametre u rekreacijskim područjima i područjima akvakulture. Zajedno sa ostalim projektima opći je cilj bio dvojak. Prvo: da se dobije što bolja slika stanja glede kvalitete priobalnih rekreacijskih i voda za akvakulturu. Drugo, da pomognu stvaranju naročito u zemljama u razvoju, fleksibilnih programa kontrole koje bi te zemlje primijenile u cilju osiguranja kvalitete u cilju prihvaćanja dogovorenih kriterija i standarda.

Pilot projekti pružili su vrlo korisna iskustva o stanju Mediterana te o mogućnostima i sposobnostima raznih zemalja da odgovore na takove situacije. Razvoj trajnih programa monitoringa bio bi težak bez takvih iskustava.

Drugi projekt koordiniran po Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji bilo je opsežno istraživanje zagađenja iz izvora sa kopna, u kojem praktički sudjeluju sve veće Agencije UN. Projekt je započeo 1976-1977. godine i ostvario je vrijedne ulaze u pripreme za finalizaciju Protokola o zaštiti mora - Mediterana od zagađenja s kopna koji je prihvaćen i potpisan 1980. godine u Ateni.

Ostali pilot projekti u svezi sa zdravljem provodeni su u razdoblju 1975. do 1981. godine, kao monitoring teških metala (naročito žive i kadmija) i kloriranih ugljikovodika (naročito DDT i PCB) u odabranim morskim organizmima, uključujući jestive ribe i jestive vrste školjaka.

Ciljevi tih projekata bili su da se prikupe informacije o koncentracijama navedenih tvari (studija je organizirana od FAO). Povezanost s mogućim učincima na zdravlje planirana je za kasnije faze istraživanja.

Kako je zagađenje obalnih rekreacijskih područja od velikoga značenja za Mediteran zbog mogućih učinaka na turizam, Svjetska je zdravstvena organizacija u tom smislu davala naglasak na pilot projekte kontrole kvalitete priobalnih voda i njihovu primjenu. O rezultatima se izvještavalo tijekom sastanaka eksperata SZO. Rezultati koji su pri tome ostvareni bili su kodovi i praksa upravljanja otpadom u obalnim područjima, preliminarne upute za provođenje mikrobioloških (epidemioloških studija utvrđivanja povezanosti kvalitete obalnih voda s učincima po zdravlje (naročito značajno uspostaviti sukladnu evidenciju na kojim standardima kvalitete i kriterijima se oni trebaju bazirati), obuhvatne upute za monitoring u svezi sa

zdravljem, i još više obuhvatna uputstva za otpuštanje otpada u morski okoliš Mediterana.

Bazirano na iskustvima preliminarne pilot faze (MED POL druge faze Dugoročni program monitoringa i istraživanja zagađenja u Mediteranu (MED POL faza II) razvijen je i finaliziran 1980. godine, a prihvaćen i tehnički formalno počeo 1981. godine, da bi postao operativan 1982. godine. Zamišljeno je da se odvija u razdoblju od 1981-1990. godine i potom je produžen do kraja 1995. godine. U osnovi se sastoji od tri elementa: monitoringa, istraživanja i aktivnosti za progresivnu primjenu Atenskog protokola iz 1980. o zagađenju mora iz izvora sa kopna.

Sadašnja faza MED POL programa sastoji se od strožih komponenti u svezi sa zdravljem i poticanje nacionalnih programa za regularni monitoring izvora zagađenja u rekreacijskim vodama i područjima uzgoja školjaka - akvakulture. Istraživačka težišnica u podršci tom monitoringu uključuju studije mikrobiološke metodologije s posebnim naglaskom na analizi morske vode i školjaka, te razvoj zajedničke metodologije za uvođenje kontrole kvalitete i ocjenu preživljenja i prilagodbe patogena u morskom okolišu, povezanost patogen - indikator, epidemiološke studije povezanosti kvalitete rekreacijskih voda sa učincima na zdravlje u izloženim grupama pučanstva, karcinogene i mutagene zagađivačima preko konzumiranja hrane iz mora. Aktivnosti u svezi s Protokolom o zagađenju mora s kopna uključuju pripremu uputa za razne aspekte upravljanja otpadom, s nastojanjem da se minimizira izvor zagađenja. One također uključuju pripremu i provjeru stanja zagađenja Mediterana specifičnim tvarima ili grupama tvari, baziranih na podacima monitoringa i rezultatima istraživanja. Te provjere uključuju i ocjenu rizika za oboje, život u moru i ljudsko zdravlje, a uključuju i preporuke vladama za poduzimanje prikladnih mjera.

U sadašnjem trenutku praktično svaka mediteranska zemlja ima program za kontrolu kvalitete rekreacijskih voda u tijeku. Ti programi variraju u širini i ciljevima naročito u razvijenim zemljama. U tom smislu valja imati na umu da u broju tih zemalja takvi programi prividno ne postoje u relativno kasnoj prošlosti, a njihova progresivna primjena ima na mnogo razina zahtjeve za utvrđivanje novih administrativnih i tehničkih infrastruktura, a što sve nije moguće stvoriti preko noći.

Sukladno sudjelovanju u MED POL programu Svjetska zdravstvena organizacija pripremila je preporučene metode za utvrđivanje glavnih tradicionalnih indikatora bakterija, kao i broj odabranih bakterijskih patogena. Sve metode bazirane su na međunarodnim standardima, ali su prilagođene lokalnim istraživanjima, da bi se udovoljilo zahtjevima i uvjetima koji su najzastupljeniji u morskom okolišu na Mediteranu. Sve se te metode povremeno nadopunjuju najnovijim rezultatima i spoznajama, ovisno o instituciji koja ih primjenjuje. Sve su te metode uključene u obuhvatna uputstva u 5 uputa za monitoring obalnih rekreacijskih i akvakulturnih voda svaki posebice u svezi bakterijskih indikatora, bakterijskih patogena, statističkih metoda i kontrolu kvalitete voda laboratorija.

Bakterije

Salmonele kao uzročni agens tifusa i paratifusa, otrovanja hrane i gastroenteritisa proširene su diljem svijeta, a značajno su prisutne i u Mediteranskom području. Utvrđeno je (Brisou, 1976.) (1,2) da su sve zemlje uz obalu Mediterana značajni rezervoari Salmonela. Naročitu pažnju zahtijevaju *S. typhi*, *S. paratyphi A* i *S. paratyphi B*, te velik broj ostalih serotipova koji su izolirani u Mediteranskom području. Tijekom studije u Grčkoj (Vassiliadis i sur. 1987.) (1,2) od 29 izoliranih serotipova, 24 su bile porijeklom iz kanalizacijom zagađene rijeke. Mnoštvo raznih serotipova izolirano je u Francuskoj, Izraelu, Italiji, Španjolskoj i Hrvatskoj (Brisou 1976.) (1). U Aleksandriji (EL Sharkawi i sur. 1982.) (1) izolirano je oko 220

serotipova *Salmonelle*. *Salmonelle* ne preživljavaju dugo u morskoj vodi i za pojavu direktnoga obolijevanja izloženih tijekom kupanja aili rekreacije potrebne su visoke koncentracije salmonela u morskoj vodi za brojne serotipove osim *S. typhi* i paratyphi A i B za koje su dovoljne mnogo više koncentracije u morskoj vodi da bi se u izloženih pojavile bolesti. Konzumiranje hrane iz mora kontaminirane *Salmonelama* mnogo je opasnije jer se u školjkama i tkivima riba postižu koncentracije u morskoj vodi da bi se u izloženih pojavile bolesti. Konzumiranje hrane iz mora kontaminirane *Salmonelama* mnogo je opasnije jer se u školjkama i tkivima riba postižu koncentracije bakterija i 50 puta više nego li u vodi u kojoj žive izložene školjke i ribe (UNEP/WHO/AEA, 1988.). (1)

Šigele su uzročnici bacilarne dizenterije; kao i *Salmonelle* široko su rasprostranjene u cijelome svijetu. Šigele su endemične na istočnim i južnim obalama Mediterana (Brisou, 1976.) (1). Ovi organizmi, kao što je izvješteno od brojnih autora, imaju relativno kratko vrijeme preživljenja u morskoj okolini.

Kolera je glavna bolest povezana s konzumiranjem školjaka kontaminiranih otpadnim vodama čiji je uzročnik *Vibrio cholerae* kojeg je otkrio Koch u Egiptu tijekom epidemije 1883-84. godine. Sedmi pandemijski val kolere uzrokovan *Vibrijom* El Tor, koji je potekao 1961. godine u Indoneziji i dalje je aktivan, a proširio se u Mediteranskim zemljama u ranim 1970. - tim godinama. Izvješteno je o slučajevima oboljelih u raznim dijelovima Mediterana uključujući Francusku, Španjolsku, Alžir i Maroko (Brisou 1976.) (1), a velika epidemija gdje su školjke bile nosioci uzročnika zabilježena je u Italiji 1973. godine gdje je zabilježeno 277 oboljelih od kojih je umrlo 24 osobe (Baine i sur. 1974.). Brisou i sur. 1962. (1) izolirali su 44 vrste vibrija uz Alžirsku obalu. Pritom su samo neki od njih patogeni, no postalo je evidentno da neki od tih »prirodno« prisutnih bakterija uzrokuju gastroenteritis, sistemske infekcije i intoksikacije u čovjeka (Shummway i Hurst 1991.) (1). Neaglutibilni vibriji koji uzrokuju gastroeneritis su često utvrđeni u područjima uzgoja školjaka. U studiji Martina i Bonnefonta (1990) (1), u Tulonu utvrđeno je 214 serotipova vibrija u efluentima, morskoj vodi i uzorcima školjaka.

Staphylococcus aureus i srodne vrste, naročito *Staf. epidermidis* potencijalno su patogeni za kožu, žlijezde u koži i sluznice toplokrvnih životinja uključujući i čovjeka. Oni su nađeni u bazenima za kupanje i prirodnim vodama za kupanje. Koagulaza pozitivne vrste uzrokuju širok spektar infekcija i otrovanja uključujući upale, apscese, meningitise, čireve, pijemije, osteomijelitis, upale uha, gnojenje rana i trovanja hranom. *Stafilococcus aureus* je tolerantan na sol i može preživjeti u morskoj okolini (UNEP/WHO/IAEA, 1988). *Staphylococcus aureus* uzrokuje infekcije uha sa (*Staphylococcus aureusom*) kao i ostale infekcije kože i nazofaringealnog trakta koje se prenose kupanjem (WHO 1982.) (1). Podrijetlo tih patogena u morskoj vodi pripisuje se djelovanju čovjeka, gotovo sve vrste stafilokoka izlijevaju se od kupača u svim uvjetima tijekom plivanja (Robinson i Mood, 1966) (1). U 628 uzoraka priobalnih voda analiziranih u Izraelu u 61% izoliran je *S. aureus*. Na manje opterećenim plažama utvrđena je učestalost *S. aureusa* u 49,5% uzoraka. Usporedbu koncentracija *S. aureusa* u morskoj vodi i pijesku plaža na jako opterećenim plažama kupačima i malo opterećenim plažama načinio je u Grčkoj Papadakis i sur. 1989. (1) godine i dokazao prisustvo *Staphylococcus aureus* au svim uzorcima. Koncentracije *S. aureus* au vodama na svim plažama se nisu znatno razlikovale, međutim mnogo više su koncentracije *S. aureusa* utvrđene u pijesku plaža jako opterećenih kupačima. Iako se *Staphylococcus aureus* povezuje s trovanjem hrane općenito, podaci o širenju školjkama su rjeđi. U Egiptu su u školjkama iz jako zagađenih voda, koje su bile

neprihvatljive kvalitete utvrđeno je između ostalih mikroorganizama i prisustvo *S. aureus* a (El Sharkawi i sur. 1982.) (1).

Pseudomonas aeruginosa uzrokuje infekcije oka i uha te rana, upale mokraćnih puteva i enteritis. Kao i *S. aureus*, on je endemski na Mediteranu. Najčešće se *Pseudomonas aeruginosa* infekcije se sreću u kupača u bazenima (WHO 1982) (1), ali se bilježi porast infekcija tim organizmima, uha, vrata i kože u kupača u kontaminiranim morskim vodama (UNEP/WHO/IAEA, 1988 (1). O brojnim slučajevima foliculitisa, dermatitisa, te infekcije mokraćnih puteva i očiju izvjestili su (Yoshpe-Purer, 1987) (1), sa *Pseudomonas aeruginosa* zbog kupanja u kontaminiranim vodama, pri čemu nisu utvrdili nikakve razlike između bazenske vode i morske vode kao medija za njihovo širenje.

Pseudomonas aeruginosa može se izolirati u oko 10% normalnih stolica, pa se slijedom toga mogu naći u kanalizaciji. U Izraelu je u 652 uzorka morske vode s raznih plaža skupljenih 1983. i 1984. godine otprilike 5% sadržavalo *P. aeruginosa*. U manjem broju tih uzoraka, normalni indikatori fekalnog zagađenja (*E. coli*) (Fekalni koliformi) bili su niskih koncentracija ili štoviše odsutni (Yoshpe - Purer, 1987) (1).

Visoke koncentracije vrsta *Pseudomonasa* utvrđene su u školjkama. Voltera (1989) izvjestio je o visokim koncentracijama 110.000/100 ml u (1989) izvjestio je o visokim koncentracijama 110.000/100 ml u *Mytilus galloprovincialis* i 460.000/100 ml u *Dona trunculus*, 42.000/100 ml u *Eusis siliqua* i 34.000/100 ml u *Chamelea gallina*. Te su koncentracije bile i do četiri puta veće nego u okolnoj vodi u kojima su te školjke obitavale.

Od ostalih bakterijskih patogena zabilježenih u Mediteranu (UNEP/WHO/IAEA, 1989) (1), sposobnih da uzrokuju razne stupnjeve gastroenteritisa, bilo konzumiranjem kontaminiranih školjaka, ili ingestijom kontaminirane vode tijekom kupanja, valja istaknuti: *Clostridium perfringens*, *Campylobacter* (*Helicobacter*) i enteropatogene sojeve vrste *Esterichia coli*. *C. perfringens* otpušta se iz otpadnih voda, a uglavnom je humanog podrijetla. Visoka im je stopa preživljenja u morskoj okolini, ali se ne reproduciraju u sedimentu. Visoke koncentracije ukupnih clostridija u sedimentu utvrdio je (Voltera i sur. 1985) (1), u usporedbi s koncentracijama ukupnih koliforma i fekalnih streptokoka u istim uzorcima.

Campylobacter jejuni i *Campylobacter coli* uzrokuju proljeve i temperature. *Campylobacter jejuni* i *Campylobacter faecalis* izolirani su u otpadnim vodama iz ispusta i zagađene vode u Grčkoj gotovo redovito tijekom VI i VII mjeseca 1987. (Papadakis) (1). Utvrđena je nužnost elementarnih studija tih bakterija.

Od ostalih necrijevnih ili ne u potpunosti crijevnih patogenih bakterija u Mediteranu, valja uključiti *Aeromonas hydrophila*, koje uzrokuju septikemiju u imunosuprimiranih domaćina, proljeve, pneumonije, apscese i infekcije rana. Mogu se širiti kontaktom ili ingestijom kontaminirane vode ili konzumiranjem kontaminirane hrane iz mora.

Virusi

Za više od 120 raznih vrsta virusa poznato je da se izlučuju ljudskom stolicom u inficiranih osoba, makar oni nemaju manifestnu bolest (Rao i sur., 1986) (1). Ti virusi pripadaju raznim obiteljima, uključujući enteroviruse (polioviruse, coxsackieviruse, echoviruse i hepatitis A viruse), reoviruse, adenoviruse i parvoviruse (adeno-associated virusi).

Tablica 1. Humani enterički virusi koji mogu biti prisutni u kontaminiranoj vodi (Rao i sur. 1986.) (1)

Porodica virusa	Broj tipova	Bolest koju izazivaju
Enterovirusi:		
Poliovirus	3	Paralize, meningitis, vrućice
Echovirus	31	Meningitis, respiratorne bolesti
Coxsackievirus A	23	Herpangina, respirat. bolesti, meningitis, vrućica
Coxsackievirus B	6	Myocarditis, prirodene greške srea, osip, vrućice pleurodinia, meningitis, respiratorne bolesti
Novi enterovirusi:		
Tip 68-71	4	Meningitis, encefalitis, respirat. bolest, akutni hemoraški konjuktivitis, vrućice
Enterovirus tip 72 (hepatitis A)	1	virusni hepatitis A
Gastroenteritis (Norwalk) virus	2	Epidemije povraćanja i proljeva
Rotavirus	4	Epidemije povraćanja i proljev uglavnom kod djece
Reovirus	3	Nije jasno utvrđeno
Adenovirus	37	Respiratorne bolesti, infekcije oka, gastroenteritis
Parvovirus	3	Vrućica, osip, aplastične anemije

Prisutnost humanih virusa u morskoj vodi valja shvatiti ozbiljno jer je dovoljna jedna PFU ili alternativni naziv CPU (cytopathogenic unit) koja, ako se proguta, može ući u organizam u ciljne stanice. Stoga opasnost od takvih infekcija u morskoj vodi nije imaginarna (Katzenelson, 1977) (1). Unatoč tome, epidemiološke studije nisu ukazale, bar ne do danas, jasnu povezanost između kupanja u zagađenoj vodi i virusnih epidemija, dok sporadične infekcije nisu isključene. Većina istraživanja virusa iz ispusta kanalizacije ili iz morske vode kvalitativna su, a manje kvantitativna. U ispuštima kanalizacije u istočnom Mediteranu utvrđene su koncentracije 10-90 CPU u litri a adenovirusi su utvrđeni u koncentracijama od 70 do 3200 CPU u litri. U obalnim vodama, ukupni virusi kretali su se od 5 do 145 CPU u litri (Krikelis i sur. 1985. 1987) (1) U Tirenskom moru koncentracija enterovirusa u obalnim vodama kreću se od 2 do

160 TCD 50 u litri (Crovari i sur. 1974) (1) U pojasu priobalnih voda (0.5-12 metara dubine), enterovirusi se nakupljaju u sedimentu, sa koncentracijama između 0,8 do 40.2 TCD 50/100 ml eluata sedimenta). Virusi se lako otpuštaju u vodu mehaničkim gibanjem vode i simuliranjem gibanja valova i strujanja na dnu (De Florez i sur. 1975). (1) U Zapadnom Mediteranu najčešće zabilježene koncentracije ukupnih vrijednosti enterovirusa uključuju 258 CPU u 10 litara u sirovoj kanalizaciji, a 1.35 do 2.1 CPU na kilogram sedimenta iz mora (Jofre, 1987). (1) U drugoj seriji eksperimenata dobivene su vrijednosti virusa iz 24 uzorka sedimenta od 200 CPU enterovirusa i 57 FF rotavirusa na kilogram i 130 CPU enterovirusa i 140 FF rotavirusa, ovisno o specifičnoj proceduri razrjeđenja (Jofre i sur. 1989). (1)

Uloga školjaka kao vektora za prijenos bolesti uzrokovanih humanim enterovirusima dobro je poznata. Za virus hepatitisa A i E epidemioški je dokazano da se šire školjkama, no oni nisu endemski na Mediteranu. Hepatitis A i Norwalk virusi su najvažniji prema javno zdravstvenim autoritetima (Shummway i Hurst, 1991). (1) Velik je broj izvješća o gastrointestinalnim bolestima zbog konzumiranja školjaka za koje nije utvrđen uzročni agens. Za mnoge od tih bolesti vjeruje se da su uzrokovani neidentificiranim virusnim agensom, češće nego bakterijskim patogenima (Geldreich, 1985). (1)

Od brojnih epidemija hepatitisa A koje su zabilježene diljem svijeta i u Europi u posljednjih 30 godina, valja dodati endemsku osnovu sporadičnih bolesti od nekoliko stotina oboljelih godišnje (Shuwal, 1986). (1) (Stille i sur. 1972) (1) je pokazao da je od 19% oboljelih od hepatitisa u Frankfurtu i Njemačkoj u svezi s konzumiranjem školjakašća uzduž Mediteranske obale. Poliovirus, Cocksackie virus A 18, Echovirus 3, 5, 6, 8, 9, 12 i 13 u školjkama utvrđeni su u Francuskoj i Italiji i Grčkoj. Hepatitis A virus ili hepatitis A antigen zabilježeni su u školjkama iz zagađenih voda (Papaevangelou i sur. 1990). (1)

Valja naglasiti da je za kliničku dijagnozu virusne bolesti nužna izolacija virusa i/ili specifična serokonverzija. Relativno su nedostupne u brojnim zemljama Mediterana te specijalizirane dijagnostičke mogućnosti na rutinskoj osnovi što ukazuje da je mogućnost uvrđivanja virusnih bolesti naročito na osnovi pojedinačnih slučajeva nepoznata.

Gljivice

Brojne su vrste gljivica patogene za čovjeka, uzrokuju mikoze površine kože, potkožnog dijela i duboke mikoze. Najčešće su infekcije gljivicama zbog kontakta s pijeskom na plaži, a rjeđe s gljivicama iz morske vode. *Candida albicans* smatra se najčešćim uzročnikom površinskih i dubokih mikoza. Ona i njezini brojni sojevi izolirani su u pijesku brojnih plaža na Mediteranu uključujući južnu Francusku (Bernard, 1985), Grčku (Papadakis, 1987, Papapetropoulou, 1988) i Izrael (Ghinsberg, 1990). (1) Njihovo prisustvo u morskoj vodi je predmetom najnovijih istraživanja u mnogim područjima Mediterana. Identifikacija ostalih vrsta gljivica je u tijeku, a što je predmetom dvaju studija. Duž sjeverne obale Mediterana u Španjolskoj od 1983. do 1985. godine, izolirano je preko 16 vrsta gljivica iz pijeska na plažama i morske vode (Izquierdo i sur. 1986). (1) Oko 80% od ukupno izoliranih gljivica bile su *Penicillium*, *Aspergillus* i *Cladosporium*. Posljednje dvije su patogene vrste. Na obalama Mediterana u Francuskoj od 1986. do 1987. godine nisu izolirane patogene vrste gljivica. Nađeno je osam vrsta keratofilnih i jedanaest vrsta nekeratofilnih vrsta koje su samo uvjetno patogene (Bernard i sur. 1988). (1) U tijeku je studija u Izraelu u utvrđivanju mikrobioloških sadržaja u pijesku plaže i u moru (Ghinsberg, 1990). (1) Posljednji rezultati iz Grčke (Papadakis i sur. 1990), (1) utvrdili su vrste: *Aspergillus*

niger i ostale vrste *Aspergillus* i *Mucor*, *Fusarium* i *Rhizopus* vrste u morskoj vodi. Sve su od navedenih vrsta gljivica oportunistički patogeni, no valja posebno istaknuti *Fusarium* koja je toksična i jedan je od najčešćih uzročnika infekcija očiju.

Ostali mikroparaziti

Relativno je malo informacija raspoloživo o rizicima po ljudsko zdravlje zbog prisutnosti životinjskih parazita u morskoj okolini. Jaja *Ascaris*, *Teniae*, *Oxyuris* i *Trichuris* su u mogućnosti da prežive u morskoj okolini mjesecima, a ingestija samo jednog jajeta je teoretski dovoljna da izazove infekciju (UNEP/WHO/IAEA, 1988). Sve od tih četiriju vrsta nematoda prisutne su u Mediteranskom području. Jajašca otpuštena iz ljudske stolice od infestiranih osoba mogu se širiti među plivačima u zagađenoj vodi (WHO, 1982). (1)

Protozoe su proširene u cijelom svijetu, pa tako i na Mediteranskom području, a među njima su najznačajnije: *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, *Balantidium coli* i *Naegleria species*. Sve one prisutne su u otpadnim vodama u kanalizaciji i predstavljaju potencijalnu opasnost po zdravlje. Stoga se preporučuje da se posebna pažnja posveti kontroli eventualnog prisustva jajašca nematoda, ukoliko se kontroliraju školjke u blizini podmorskih ispusta kanalizacije.

Toksične alge

Prekomjerni rast - bujanje toksičnih vrsta algi se često dešava u područjima uzgoja školjaka u cijelom svijetu. Školjke akumuliraju toksične stanice tijekom hranjenja - filtriranjem morske vode i postaju vektori raznih oblika trovanja školjkama (Shumway, i Hurst, 1991). (1) Od svih ljuštaša koje se konzumiraju, školjke - zahtijevaju najveću pažnju zbog otrovanja. Mogu se pojaviti razne bolesti uključujući paralitička trovanja školjkama (PSP), neurotoksično trovanje (NSP) i dijarealno trovanje (DSP). Otrov PSP je, kako je utvrđeno, tetrahidropurinske grupe, a saxitoksin je prva komponenta koja je identificirana, a proizvode ga alge dinoflagelatne grupe najčešće vrste roda *Gonyaulax* i *Gymnodinium* koje se nalaze u tropskim i toplim morima. NSP proizvodi *Gymnodinium breve*, a uzrokuje slične simptome kao PSP, ali blažeg intenziteta. DSP uzrokuju brojne toksične komponente izolirane iz školjaka, a u čovjeka izazivaju proljeve, mučnine, povraćanja i bolove u truhu. Alge odgovorne za to je *Dinophysis* i njene podvrste. Daljnji je oblik otrovanja školjkama je ASP - Amnestičko trovanje školjkama, uzrokovano toksinima koji izazivaju grčeve u truhu i neurološke odgovore uključujući gubitak pamćenja i dezorijentaciju kako je to opisano (WHO, 1984, Shumway 1990). (1)

Shumway je 1990. (1) godine sumirao toksične i štetne učinke na školjke uslijed prekomjernog bujanja algi. *Dinophysis sacculus* u školjkama odgovoran je gubitke na tržištu hrane iz mora u Francuskoj između 1987. i 1989. godine. Ista vrsta uzrokovala je kako je izvješteno DSP u Portugalu od konzumiranja školjaka. Prema Shumwayu DSP je proširena i na Jadranu. PSP toksine stvara *Gonyaulax tamarensis* u školjkama kako je to zabilježeno u Španjolskoj, a slične toksine stvara *Gymnodinium catenatum* i *Venus verrucosa* i *Cytherea*, prvi put nađeni uz Mediteransku obalu Španjolske 1990. godine. *Alexandrium minutum* u školjkama uzrokovala je prve slučajeve PSP u Francuskoj 1989. godine. Shumway-eva distribucija pokazala je PSP prisutnost u Tirenskome moru. Alge odgovorne za »crvenu plimu« u pokrajini Emilija Romagna Italija 1984. godine bile su *Gonyaulax polyedra*. Od ukupno 128 uzoraka morske vode u područjima marikulture u Grčkoj, *Gonyaulax* i *Gymnodinium* nađene su 12 odnosno 18 uzoraka, prije u malim količinama, a kasnije u relativno velikim količinama. Saxitoksin nije utvrđen u tim uzorcima niti u školjkama raspoloživim metodama

(Papadakis 1989). (1) U posljednjem izvješću (Berland i Bellan-a, 1990) bujanja *Gymnodinium breve* (odgovorna za NSP) su zabilježena u Sjevernoj Španjolskoj i Istočnom Mediteranu. (1)

Rasprava

Nakon izloženoga, možda bi se moglo u prvi mah steći dojam o velikim opasnostima koje prijete rezidencijalnom stanovništvu i turistima u Mediteranskom području. Te opasnosti očito nisu još dovoljno kvantificirane jer nisu još niti dovoljno poznati kvalitativni čimbenici o intenzitetu i proširenosti pojedinih zagađivala, odnosno mogućih opasnosti i rizika.

Međutim, uz sve navedeno, valja posebice naglasiti i vrlo pozitivne trendove koji se bilježe na Mediteranu. Tako se u posljednjoj dekadici bilježi značajan porast uređaja za kondicioniranje tekućeg i krutog otpada i njegovu higijensku dispoziciju.

Drugi značajan trend bilježi se temeljem rezultata dobivenih u programu monitoringa kvalitete priobalnih voda. Tako se, primjerice, za zemlje članice Europske Unije na Mediteranu u skladu sa Direktivama o kvaliteti voda za kupanje (EEZ, 1988, 1989, 1993) u Francuskoj bilježi na postajama monitoringa porast broja zabilježenih prihvatljivih parametara kvalitete vode za kupanje. Godine 1983. bilo je 76,4% zadovoljavajućih rezultata, godine 1987. bilo je 83%, a 1992. 87% zadovoljavajući rezultata. Također se bilježi smanjenje broja stanica na kojima je zabilježena nezadovoljavajuća kvaliteta vode za kupanje (23,5% godine 1983, 16,7% u 1987. i 13% u 1992. godini).

U Italiji je broj stanica za utvrđivanje kvalitete voda za kupanje (a talijanski su kriteriji strožiji od EEZ) bilježi stalni porast kvalitete voda za kupanje. Tako je 1984. godine bilo 68% zadovoljavajućih rezultata, godine 1989. bilo je 89,3%, a 1992. čak 92% zadovoljavajuća rezultata analize kvalitete vode za kupanje. (91)

U Grčkoj se, prema izvješću Europske Unije, godine 1987. utvrdilo 77,7% stanica sa pet uzorkovanja godišnje sa zadovoljavajućom kvalitetom voda za kupanje da bi taj broj porastao na 97%. (1)

U Španjolskoj je broj stanica s visokom kvalitetom vode za kupanje pao od 65,2% godine 1986, na 51,0% u 1987, da bi 1992. godine porastao na 74%, a u 1994. godini taj je broj bio 94% stanica. (1)

Prema rezultatima monitoringa koji se provodi po Koordinacijskoj jedinici Mediteranskog akcionog programa, u sedam mediteranskih zemalja (Alžir, Cipar, Izrael, Libanon, Malta, Maroko i bivša Jugoslavija), u suradnji sa nacionalnim MED POL sporazumom o monitoringu za razdoblje 1983. - 1987. dobiveni su slijedeći rezultati: godine 1983. bilo je 78% zadovoljavajućih rezultata kvalitete vode za kupanje izmjereno na postajama da bi taj broj porastao na 96% u 1987. godini. Rezultati iz Albanije, Egipta, Sirije, Tunisa i Turske od 1988. do 1992. ukazuju da iako nije ostvareno opće poboljšanje, došlo je do praktičnog poboljšanja u svakoj pojedinoj zemlji. (1)

Prema podacima WHO 1989. godine za 16 zemalja uglavnom uz sjevernu obalu u razdoblju od 1983. do 1987. godine bilježi se unapređenje stanja, te uz južnu obalu i dio centralne i istočne obale. (1)

Pri tome, valja naglasiti da su još značajni dijelovi južne i istočne obale neistraženi i neoznačeni glede kvalitete vode.

Bilježe se razlike u prihvaćenim kriterijima i parametrima kvalitete voda te standardima i graničnim vrijednostima.

Značajne su i razlike u primijenjenim analitičkim postupcima.

Uz sve navedene moguće opasnosti po ljudsko zdravlje u Mediteranskom području kojeg smo i mi dio, valja ponovo naglasiti da jedinstveni ekosistem Mediterana ima i brojne pozitivne čimbenike i utjecaje na poboljšanje i unapređenje ljudskog zdravlja. Brojni zaštitni čimbenici zdravlja prisutni na Mediteranu zacijelo ulaze u interakciju sa brojnim možebitno štetnim čimbenicima, pa ih očito u nekim slučajevima i neutraliziraju.

U radu su izloženi samo neki do sada upoznati čimbenici značajni za mogući utjecaj na zdravlje na Mediteranu, a prema morbidogenom čimbeniku bez obzira nalazi li se u vodi, hrani iz mora ili u pijesku i/ili ostalim dijelovima ekosistema.

Zaključci

Imajući u vidu dosad izloženo, valjalo bi i u nas:

1. Uvesti kriterije, standarde i metode utvrđivanja kvalitete voda za kupanje i rekreacijskih voda kako je to ostvareno u zemljama Europske Unije.
2. Bilo bi korisno u nas uvesti trajno praćenje utjecaja kvalitete morske okoline na zdravlje u skladu sa međunarodnim gibanjima u svijetu.
3. Nužno je u Jadranskome području Hrvatske dati prioritet na rješavanje higijenskog zbrinjavanja krutoga i tekućega otpada kako bi se očuvalo kvalitetu rekreacijskih voda Jadrana kao bitan resurs daljnjega razvoja turizma u nas.

Literatura

1. Assessment of Health risks from marine pollution in the Mediterranean, Long-term Programme for Pollution Monitoring and Research in the Mediterranean Sea (MED POL Phase II) WHO Regional office for Europe, UNEP, 1994.
2. Čiček, J.: Izvješće sa sastanaka eksperata WHO Regional Office for Europe: Assessment of Health Risks from Marine Pollution in the Mediterranean Long-term Programme for Pollution Monitoring and Research in the Mediterranean Sea (MED/POL Phase II/WHO and UNEP.



1. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
Dubrovnik, 24. - 27. svibnja 1995.
ODRŽIVI RAZVOJ I UPRAVLJANJE VODAMA

Josip Čiček

R 9-04

Prosudba rizika za zdravlje od zagađenja mora

SAŽETAK: *U radu se sistematiziraju i rasčlanjuju osnovni vidovi zagađenja mora i njihove možebitne posljedice po javno zdravlje.*

Posebice se daje rasčlamba infektivnih zdravstvenih rizika zbog polucije rekreacijskih područja biološkim agensima koji kontaminiraju hranu iz mora, te rizika po zdravlje zbog kemijske kontaminacije rekreacijskih područja i hrane iz mora.

KLJUČNE RIJEČI: *zagađenje mora, javno zdravlje, rizik*

Risk Assessment of Sea Pollution Effect on Public Health

ABSTRACT: *The paper systematically presents and analyses the basic forms of sea pollution and their possible effect on public health.*

Special analysis is made of infection risks caused by pollution of recreational areas by biological agents which contaminate the sea food, and the health risks caused by chemical contamination of the recreational areas and the sea food.

KEY WORDS: *sea pollution, public health, risk*

Uvod

Još od 1979. godine Svjetska zdravstvena organizacija (SZO) utvrdila je da zagađena voda može uzrokovati opasnosti po ljudsko zdravlje ukoliko se u njoj obavljaju rekreacijske aktivnosti. To se odnosi primarno na kupanje, plivanje te ostale sportove na vodi pri kojima se ostvaruje visoki kontakt, veslanje, jedrenje. Takvim aktivnostima naročito ako ih provode neiskusne osobe, dolazi do povećanoga rizika, jer se voda proguta i dolazi do kontakta vode s očima, ušima, nosom i ostalim sluznicama. Izložene sluznice i ozljede kože omogućuju prodiranje virusa u organizam iz kontaminirane vode.

Najvažniji zdravstveni rizici u morskoj ili slatkoj vodi jesu: utapljanje, povrede zbog plutajućih tvari, nekontrolirane uporabe opreme za sportove na vodi te infekcije. Rizik od utapljanja veći je od svih drugih rizika u svezi sa rekreacijskim vodama. Više od 50% svih utapljanja povezano je s konzumiranjem alkohola. Svako rekreacijsko područje na vodi valja posebice provjeriti zbog rizika od utapljanja, povreda i infekcija.

Kako se sportovi na vodi često odvijaju u područjima gdje je voda kontaminirana kanalizacijom, to predstavlja rizik unošenja u organizam patogenih mikroorganizama, uključujući i viruse. Efluenti iz kanalizacije mogu doći u direktni kontakt s organizmom udisanjem i ingestijom. Mikroorganizmi su rizik po zdravlje bilo u vidu pojave samo simptoma (minor bolest) i proljeva, povraćanja, grlobolje, te infekcije kože, očiju, ušiju i grla. No mogu se pojaviti i prave bolesti, pa čak i epidemije. Prema rezultatima dobro provedenih epidemioloških studija, može se očekivati da će od ukupnoga broja izloženih od 3-5% izloženih biti zahvaćeno simptomima tako zvane »male bolesti«. U većini slučajeva ti su simptomi manjega intenziteta i trajanja i zato se u medicinskoj literaturi nazivaju »mala bolest - minor disease«. Rjeđe se mogu pojaviti i specifične bolesti kao hepatitis A, salmoneloze i meningitis. (3).

U slatkoj vodi javljaju se i rizici zbog izlaganja toksinima cijanobakterija (plave i zelene alge), a u morskoj vodi od dinoflagelata. Oboje je povezano s raznim simptomima i narušavanjem zdravlja uključujući iritaciju kože, gastroenteritis, oštećenja jetre i živčanog sustava i upale pluća (4). Leptospiroze uključujući i Weilovu bolest povezane su s izloženošću čovjeka kontaminiranim slatkim rekreacijskim vodama, a koje su kontaminirane mokraćom zaraženih životinja kao što su glodavci, psi i goveda. Valja naglasiti kako se neke od navedenih kužnih bolesti (hepatitis A, salmoneloze i meningitis) mnogo češće dobivaju tijekom kontakta s izvorima zaraze u komunalnoj i radnoj okolini, negoli u rekreacijskoj okolini.

Svrha i cilj rada

Radom se želi potaknuti interdisciplinarne i multidisciplinarne timove stručnjaka te donosioca odluka na lokalnoj i nacionalnoj razini te gospodarstvenike da u definiranju i gospodarenju rekreacijskim vodama, te vrstama rekreacijskih aktivnosti, sistematiziraju možebitne rizike:

- zagađivačima: tipovima, vrstama, izvorima, trajanju, razinama, učincima po okolinu, kontrolom, programima monitoringa, troškovima i koristima kontrole;
- ljudsko zdravlje: obrasci - modeli i načini izloženosti, učinci na zdravlje, epidemiološka istraživanja, prosudbe rizika, preventivne mjere;
- lokalno: zakonske odgovornosti, komunikacije s odgovornim organima, vlasnicima, kontaktne točke za javnost, mediji, veze i izvještavanje;
- javnost: ponašanje, prikladna dispozicija otpadne tvari, s kime komunicirati u svezi daljnjih informacija.

Svako rekreacijsko područje, a naročito na vodi, trebalo bi imati tako strukturiran prospekt s navedenim informacijama.

Metode rada

Koriste se metode rasčlambe, komparacije, dedukcije i sinteze.

Opis problema

Estetski problemi

Konvencionalni mikrobiološki i kemijski indikatori kvalitete rekreacijskih voda nisu jedine definirane razine javno zdravstvenih rizika.

Vidljiva i estetski neprijatna zagađenja uključuju odbačenu hranu i njenu ambalažu, kućansko smeće, uginule ribe, ptice i druge životinje, talog albi, kemikalije, ulja, masnoće, detergente, plutajuće objekte od drveta ili plastike, polietilenski film, plastične vrećice, pjene, gume, staklo, prezervative, medicinski i sanitarni otpad itd.

Valja naglasiti da to estetsko zagađenje - kruti otpad ostaje u morskoj vodi dugo vremena. Tako primjerice:

autobusne karte 2-4 tjedna

materijali od pamuka 1-2 mjeseca

konopci - užad 3-14 mjeseci

vunene čarape 1 godinu

obojeno drvo 13 godina

konzerva od kositrenog lima 100 godina

alumijska konzerva 200-500 godina

plastična boca 450 godina.

Estetski vrijedne rekreacijske vode definiraju se kao vode - bez:

– vidljivih materijala koji su ustanovljivi u obliku depozita kojima se može prigovoriti, a to su:

- plutajući otpaci, ulja, talozi, izmet i ostale tvari;
- tvari koje proizvode smetajuće - prigovorljive boje, mirise, okuse ili mutnoću;
- tvari i uvjeti ili njihova kombinacija čije koncentracije mogu prouzročiti neželjeni učinak na akvatički život.

Slaba estetska kvaliteta rekreacijskih voda može uključiti također i lošu mikrobiološku i/ili kemijsku kvalitetu, a što zajedno u nekim slučajevima može dovesti do porasta gastrointestinalnih poteškoća.

Kemijski rizici

Možebitni rizici po zdravlje zbog kemikalija u rekreacijskim vodama nastaju zbog kontaminacije voda pesticidima, uljima, detergentima, metalima i nedozvoljenim potapanjem toksičnog otpada. Valja naglasiti da prilikom kontaminacije rekreacijskih voda kemijskim tvarima dolazi do njihova značajnoga razrjeđenja. Osim navedenih kemijskih tvari, kemijske i toksikološke rizike u rekreacijskim vodama izazivaju alge u slatkoj i morskoj vodi. Rizici po ljudsko zdravlje iz rekreacijskih voda značajniji su od bioloških kontaminanata a iza njih potrebno je još mnogo dodatnih informacija i istraživanja kao što su primjerice koje su koncentracije dovoljno visoke da uzrokuju bolest tijekom jednokratne izloženosti ili čak pri kroničnoj izloženosti? Postoje štoviše sugestije o povezanosti dugoročnih učinaka na zdravlje kao što su zloćudne novotvorine i oštećenja imunoga sustava naročito u morskih životinja.

Širenje kemijske kontaminacije ovisi naročito o stanju vode i o uvjetima na vodi. Primjerice sporo tekuće rijeke, nizinska jezera i priobalne vode predmetom su trajnoga ili intermitentnog otpuštanja kemijskih tvari. Primjerice mineralna gnojiva

moгу se ispirati iz tla sa poljoprivrednih površine, a visoke koncentracije fosfata mogu potstaći prekomjerni rast alga i bakterija, njihovo raspadanje i otpuštanja toksina.

Značajna je spretnost i vještina sudionika u rekreacijskim aktivnostima. Rizik kontakta sa kemijskim kontaminantima očigledno je viši pri veslanju, plivanju, ronjenju i surfanju, a naročito u neiskusnih jedriličara i skifaša na vodi. Najizloženije površine tijela jesu koža, oči, sluznice, ingestija i udisanje. Važni su načini kontaminacije.

Patogeni mikroorganizmi prisutni u morskoj vodi, sedimentima i na plažama se s aspekta rizika po zdravlje mogu podijeliti u dvije kategorije: one koji zahvaćaju probavni sustav i one koji zahvaćaju ostale dijelove tijela. Sve bolesti koje se šire fekalno oralnim putem kod kojih se uzroči agens otpušta stolicom oboljele osobe ili kliconoše, mogu se dobiti plivanjem u vodi kontaminiranoj kanalizacijom (Cabelli, 1983.). To uključuje:

- a) bakterijske bolesti kao salmoneloze (uključujući tifusnu i paratifusnu groznicu), šigeloze (bazilarnu dezenteriju), koleru i gastroenteritis uzrokovan enteropatogenom, *E. coli* i *Yersinijom enterocoliticom* i
- b) virusne bolesti kao hepatitis A, bolesti uzrokovane enterovirusima (poliovirusi, coxackie virusi A i B, ekovirusi, reovirusi i adenovirusi) i nespecifični gastroenteritis uzrokovan humanim rotavirusom i parvo virusima, i
- c) bolesti uzrokovane raznim protozoarnim i metazoarnim parazitima kao amebna dizenterija, girardijaza i askaridoze.

Osim bolesti koje zahvaćaju probavni sustav, brojne su smetnje koje zahvaćaju oči, uši, gornji dišni sustav i ostale dijelove tijela, a koje su u svezi s kupanjem. Tu posebnu kategoriju čine infektivna stanja koja mogu biti uzrokovana mikroorganizmima kao što su *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Clostridium sivechii* i *Candida albicans* koje mogu ući u organizam kroz kožu zbog povrede-oštećenja ili puknućem sluznica u oku ili nosu, naročito zbog oštećenja pri ronjenju u moru (Shuval, 1985.). Ti su mikroorganizmi prisutni često u čovjeku, a bolest nastaje kao oportunistička kada se smanji lokalna i/ili opća otpornost organizma (Mood i Moore, 1976.) Također sve ove četiri vrste mikroorganizama nađene su u zagađenoj vodi.

Epidemiološke studije

Bazični pristup istraživanju učinaka na zdravlje tijekom plivanja i kupanja dao je Stevenson (1953) i sur. u utvrđivanju razlika u učestalosti bolesti koje se mogu očekivati od kupanja u vodi koja sadrži razne stupnjeve bakterijskog zagađenja. Ustanovljenje krivulje doza - odgovor, krajnji je cilj istraživanja u tom području. Krivulja doza - odgovor ne ovisi o indicijama zagađenja baziranih na patogenima; indikatori kanalizacije mnogo su prikladniji, jer imaju mnogo predvidljiviju distribuciju i moguća je njihova uporaba kao baze za standarde. Stoviše, nije potrebno definirati rizik oboljevanja prema specifičnim patogenima. Simptomi ili grupe simptoma mnogo su prikladnije gdje je rizik u svezi s nepoznatim sezonskim i prostornim distribucijama (Wheeler, 1990.). Od prve studije Stevenson-a 1953. godine provedene su brojne studije s pokušajem da se utvrdi razina rizika izloženosti raznim ekspozicijama s različitim koncentracijama bakterija u vodama za kupanje. Mnoge su studije bile prospektivnoga tipa, nazvane općim terminom kao Cabelli tip po studiji voditelja prve serije studija provedenih po USA EPA od 1972. do 1979. godine. Sumarni rezultati glavnih studija dani su u tablici 1., a uključuju i četiri Mediteranske zemlje.

Tablica 1. Sumarni rezultati epidemioloških studija Cabelli tipa.

Autor	Period	Zemlja Područje	Slatka voda Morska voda	Indikator	Korelacija r^2 (b)	Simptoni
Stevenson	1953.	SAD	Obje	Ukupni koliformi	NR	ENT/G1/R
Cabelli	1982.	SAD	Obje	Enterokoki	0,56	G1
Seyfried	1985.	Kanada	Slatka	Ukupni stafilokoki	0,19	R/G1
				Fecalni koli f.	0,08	
				Fec. Stafylococ	0,03	
Cheng	1988.	Hong Kong	Morska	E coli	0,53	S/G1
				Staphylococc	NR	
El Sharkawi	1983.	Egipat	Morska	E. Coli	0,77	G1
				Enterococi	0,79	
Fattal	1986.	Izrael	Morska	Enterococi	NR	G1
				E. coli	NR	G1
Mujeriego	1982.	Španjolska	Morska	F. streptococi	NR	S/E/ENT/G1
Toulon	1983.	Francuska	Morska	F-streptococi		
				Ukupni colifor	NR	E/S/G1
				F- coliformi		

(b) r^2 Koeficijent determinacije: NR - nije izvješteno

(c) E-infekcije očiju; S-kožne poteškoće; GI-gastrointestinalni simptomi; ENT-infekcije uha, nosa i grla; R respiratorne bolesti.

Relevantna literatura, uključujući detalje dizajna i rezultate, objavljena je od Shuvala (1986.), Jones i Kay-a (1989). Lightfoot (1984.), Saliba i Helmer (1990.) i Wheeler (1990). Većina studija provedena je na Mediteranu uključujući morske plaže i mikroorganizme korištene za provjeru kvalitete vode od jednog parametra dokombinacije ukupnih koli-forma, fekalnih koliforma, fekalnih streptokoka, enterokoka, E-coli i stafilokoka. Većina autora dobila je rezultate u višem morbiditetu među kupcima u komparaciji s nekupcima, najbolje korelacije s kvalitetom vode bile su kad se jedan ili više mikroorganizama uspoređivao na različitim plažama.

Aleksandrijsku studiju sponzorirala je USEPA, koja je bila zainteresirana za mnogo više zagađene plaže negoli su im bile na raspolaganju u SAD-u, s ciljem da se pokuša determinirati krivulja doza - odgovor kod više razine. (Shuval 1986.). Neke od plaža uključenih u studiju bile su izložene obližnjim podmorskim ispustima kanalizacije i teško zagađene sa enterococima i E-coli sa koncentracijama 104/ml. Ostale plaže bile su prihvatljive prema uputama USEPA. Populacije uključene u studiju obuhvatile su rezidencijalno stanovništvo Aleksandrije i ljetne posjetioce iz Kaira. Moglo se pretpostaviti da će populacija iz Kaira imati niži imunitet za endodemske bolesti u Aleksandriji. Pokazala se jaka povezanost između visoko izraženih gastrointestinalnih simptoma, gustoće enterokoka i gustoće E-coli. Usporedba s prethodnim studijama

slične prirode u New Yorku pokazala je kod iste gustoće enterokoka niže stope bolesti u Egiptu, i mnogo napadnije među lokalnim pučanstvom Aleksandrije. To se pripisivalo endemskomu statusu enteričkih bolesti u tom području i višemu intenzitetu u starije djece i odraslih (Shuval, 1986.). El-Sharkawi i sur. (1982.) utvrdili su značajniji rizik tifusa zbog kupanja u zagađenoj morskoj vodi i najveću prijemljivost kod mlađe dobne skupine.

Godine 1983. izraelska studija provedena je u tri plaže u području Tel-Aviva s različitim stupnjem ekspozicije zagađenja kanalizacijom. Studijom je obuhvaćen 2.231 plivač i neplivač (32% u dobi 0-4 godine), a indikatori bili su fekalni koliformi, enterokoki, E-coli, Staphylococci aureus i Pseudomonas aeruginosa. Utvrđen je značajan broj enteričkih simptoma (gastrointestinalna bolest) među plivačima u dobi 0-4 godine u vodi sa višom koncentracijom enterokoka i E-coli. Fekalni koliformi i Pseudomonas aeruginosa čini se, nisu bili ravnopravni indikatori za plivanjem povezanu enteričku bolest (Fattal i Shuval 1988.).

Jedna od dviju studija provedenih u Španjolskoj (Mujeriego i sur. 1982.) uključila je široku skalu ukrštenih sekcijskih studija na preko 20.000 ispitanika na raznim plažama Malage i Tarragone, gdje su provedena intervjuiranja. Više stope morbiditeta zabilježene su u svezi infekcijama kože 2%, slijedile su infekcije uha. Oko 1,5% infekcija uha imali su ispitanici koji uranjaju glavu pod vodu. Koncentracija fekalnih koliforma dale su bolju korelaciju sa stopama morbiditeta nego fekalni koliformi. Kasnije studije (Marino i sur. 1982.) provedene na brojnim Mediteranskim i Atlanskim plažama okvirno sličnoga dizajna opet su dale više stope učestalosti i morbiditeta za uši, oči i kožne infekcije. Tom prilikom najbolju korelaciju s takvim morbiditetom pokazali su fekalni koliformi, a granična koncentracija sa porastom stope morbiditeta bila je 400 fekalnih koliforma na 100 ml.

Studije provedene u Francuskoj (Foulon, 1983.) na pet plaža uključile su kvalitetu vode u kojoj su testirane koncentracije ukupnih koliforma, fekalnih streptokoka i fekalnih koliforma 5.000 osoba je intervjuirano na plaži, a preko 1.500 praćeno je na bazi povratnih upitnika. Rezultati su inicirali razlike između incidencije konjunktivitisa i kožnih infekcija između kupaca i nekupaca, kao i poteškoća u truhu, mučnine i povraćanje i svrbež između osoba koje su uranjale glavu pod vodu i onih koji to nisu činili. No nije zabilježena korelacija između morbiditeta i kvalitete vode.

Kasnije studije (Careps, 1987.) provedene u području Bassin de l'Ardeche na slatkovodnim plažama obuhvatile su 5.700 osoba u ljetu godine 1985. i 1986. Indikatori kvaliteta vode odabrani su odvojeno od ukupnih koliforma, fekalnih koliforma i fekalnih streptokoka bile su i vrste roda Aeromonas i Pseudomonas aeruginosa. Osobe su zadržane u trajnoj opservaciji u razdoblju 3-8 dana i bilježeni su simptomi. Više stope morbiditeta utvrđene su među kupcima nego među nekupcima, za neki tip bolesti (gastrointestinalni, kožni, očni i otorinolaringološki). Ukupni koliformi i fekalni koliformi dali su najbolje korelacije s općim morbiditetom. Kada su uzeti u obzir svaka vrsta simptoma posebice, korelacija se razlikovala prema pojedinim indikatorima. Fekalni streptokoki pokazali su najbolju korelaciju sa gastrointestinalnim simptomima. Utvrđeno je da je koncentracija od 100 fekalnih koliforma u 100 ml/EU uputstva standard/ odgovarao incidenciji od 15,3 slučajeva gastrointestinalnog morbiditeta na 1000 osoba/ dan, a koncentracije od 2.000 fekalnih koliforma u 100 ml (EU mandatorni standard) odgovarao je incidenciji od 20,4 slučajeva na 1000 osoba / dan. Standard prema uputstvu za fekalne streptokoke (100 u 100 ml) odgovarao je 23 slučaja na 1000 osoba / dan. Očekivana incidencija za nekupače od gastrointestinalnog morbiditeta načinjena je na bazi rezultata autora i bilob i do 8,5 slučajeva na 100

osoba / dan. Autori zaključuju da se ovi rezultati ne mogu primijeniti ni ekstrapolirati na morsku vodu.

Najnovija studija u Španjolskoj (Borego i sur. 1988.) provedena je na dvije plaže u Malagi, utvrđivala je kvalitetu vode koristeći ukupne koliforme, fekalne koliforme, fekalne streptokoke, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Aeromonas hydrophila*, *Vibrio sp.* i *Candida albicans*. Tijekom prve godine studije, istraživanja su provedena u grupama test populacije prema modificiranom Cabelli tipu uputa. Preliminarni zaključci su sljedeći:

- a) enterička simptomatologija bila je viša među plivačima nego među neplivačima na više zagađenim plažama;
- b) zabilježeno je značajno više oboljevanje od kožnih i respiratornih simptoma među plivačima u usporedbi sa neplivačima bez obzira na zabilježenu gustoću bakterija u morskoj vodi;
- c) nije bilo zabilježene statističke značajnosti između simptoma povezanih s plivanjem i fekalnih indikatora;
- d) gustoća koncentracije gljivica u pijesku obe plaže bile su identične (u zagađenoj i nezagađenoj plaži) i nije nađena povezanost pijeskom uvjetovanih simptoma dermatitisa i kožnih patogena.

Problem u svezi s ovom studijom bio je što od 1447 ispitanih osoba samo 4,6% se moglo definirati kao neplivači. Kontrolna je grupa stoga bila vrlo mala. Studija se nastavlja na većim grupama.

Prospektivna epidemiološka studija provedena u Izraelu na četiri plaže u Tel-Avivu u području jug (Fattali Shuval 1991.). Bez obzira na primarne ciljeve studije, u proučavanju plivanjem povezanoga morbiditeta u svezi s kvalitetom vode u smislu koncentracije bakterijskih indikatora, drugi je cilj bilo utvrditi izvodivost u cilju utvrđivanja etiologije plivanjem povezanog gastroenteritisa. Ukupno je bilo 233 obitelji, od čega je 784 osobe bilo uključeno u studiju, a 23% od ispitivane populacije bilo je u dobi 0-4 godine. Ukupno je 42 uzorka morske vode bilo ispitano na koncentraciju bakterijskih indikatora (fekalnih koliforma i enterokoka). Koncentracije obiju značajno su varirale od najmanje do najzagađenije plaže. Nije bilo značajnijih razlika u učestalosti s plivanjem povezanih enteričkih simptoma između te dvije plaže za dobnu skupinu 0-4 godine, kao i ostale dobne skupine. Opći morbiditet bio je sličan onome iz prethodne studije. Kod 40 plivača i neplivača uzeti su uzorci krvi koji su bili pozitivni na rota virus. Nije utvrđena serokonverzija. Utvrđeno je da su plivanjem povezani opći i visoko uvjerljivi enterični i respiratorni simptomi značajno su viši za vrijeme visokog kupaćeg "efektivnog dana" nego u vrijeme, "nisko efektivnog kupaćeg dana". Dva su zaključka autora:

- a) da su kupaći sami po sebi značajan izvor agenasa odgovornih s plivanjem povezane bolesti na morskim plažama u uvjetima velikoga opterećenja plaže kupaćima i slabe izmjene vode, te
- b) da su niži brojevi mikrobioloških indikatora primjenjivi za plaže s niskim stupnjem izmjene voda, nego oni koji se primjenjuju za plaže s relativno visokom izmjenom vode (otvorene plaže).

U svom izvješću o rezultatima prospektivnih epidemioloških studija Cabelli tipa Jones i Kay (1989) zaključuju da nema dovoljno dobrih epidemioloških podataka koji bi bili znanstvenom osnovom za utvrđivanje standarda kvalitete rekreacijske vode koje treba kontrolirati zbog visoke rizičnosti. Dotaknuti su neki opći problemi u provođenju epidemioloških studija, uključujući:

- poteškoće u utvrđivanju izloženih i neizloženih grupa pučanstva;
- nesigurnost u stupnju i trajanju izloženosti kupanju;
- dostupnost samo ograničenih informacija o zagađivačima prisutnim u vodama za kupanje;
- neadekvatno utvrđivanje bolesti i njene povezanosti sa kupanjem;
- poteškoće u interpretaciji neke povezanosti između bolesti i izloženosti zagaženoj vodi i pripisivanju uzročno posljedične povezanosti.

Značajna je poteškoća što se pri svim predmetnim istraživanjima uključuju i daljnji dodatni čimbenici kao što je primjerice konzumacija kontaminirane hrane iz mora koja nije u svezi s kupanjem.

Rasprava

Saliba i Helmer 1990.) na bazi analize recentne epidemiološke literature smatraju da će biti još uvijek teško kvantificirati aktualni rizik po zdravlje zbog kupanja u kanalizacijom zagađenim obalnim vodama za kupanje, kao i korelirati ih, te rizike sa specifičnim razinama zagađenja voda izraženih u smislu više rutinskih mjerenja baterija kao indikatora. S kvantitativnog stanovišta, jasne su evidencije da zdravstveni rizici postoj e da su najizraženiji u područjima direktno izloženim zagađenju netretiranom kanalizacijom. Taj opći zaključak vrijedi s globalnoga gledišta posebice je primjenjiv, aktualan i specifičan za Mediteransko područje. Slični su zaključci objavljeni kao rezultati višegodišnjeg programa mikrobioloških i epidemioloških studija provedenih u SAD-u i EPA - (Colderon 1990.), koje su utvrdile i potvrdile za morske plaže dobru povezanost s plivanjem povezanih gastrointestinalnih simptoma, koji su dobiveni pri koncentraciji enterokoka u vodi. U tim studijama izvor zagađenja bio je utvrđen kao točkasti. USEPA studija istražila je fekalne indikatore iz netočkastih izvora i plivanjem povezanih bolesti. Rezultati tih studija nisu našli takve bolesti povezane sa indikatorima fekalnog zagađenja vode.

Nužno je posvetiti pažnju svakoj hipotetskoj ekstrapolaciji trendovima stanja u svezi s incidencijom i gustoćom patogenih mikroorganizama u zahvaćenim obalnim područjima i rizicima za ljudsko zdravlje koji proizlaze zbog kupanja. S druge strane, jasno je da svaki porast odnosa tretirane i netretirane otpadne vode (kanalizacije i/ili broja podmorskih ispusta koji odmiču otpuštanje od obalne linije u duboko more u teoriji i praksi smanjuje opću učestalost i gustoću patogenih mikroorganizama u prethodno zahvaćenim područjima sa posljedičnim smanjenjem zdravstvenih rizika. S druge strane, pozitivni trendovi kvalitete voda zabilježeni primarno u smanjenju gustoće indikatornih organizama, čija je sposobnost da prežive u morskoj okolini i u uvjetima uređaja za tretman otpadnih voda sve manja, što je najvažnije u slučaju virusa. Značajno je da je glavni (a u mnogim slučajevima jedini) kriterij prihvatljivosti baziran na jednom naročitom indikatoru (fekalni koliformi), koji mnoge epidemiološke studije bez obzira na varijacije u njihovim rezultatima ističu kao nezadovoljavajuću osnovu za korelaciju sa simptomima morbiditeta u izloženim grupama ljudske populacije.

Specifičan je primjer potencijalnih rizika po zdravlje od kupanja u otpadnim vodama zagađenim obalnim vodama proveden od 1972. - 1979. godine u SAD Cabelli (1983.), koje su pokušali izvršiti kvantifikaciju s kupanjem povezanih zdravstvenih rizika razvojem podataka za regresijske krivulje za opće i visoko vjerovatne gastrointestinalne simptome (mučnina, povraćanje, proljev, bolovi u želucu). Kasniji podaci USEPA o razvoju regresijske krivulje i preporučeni kriteriji zdravstvenih učinaka za

morske rekreacijske vode omogućili su da se utvrdi velika vjerovatnost za te vrste teških simptoma i posljedice po javno zdravlje i da je to sve više pristupačno i ekonomskoj analizi (Cabelli i sur. 1984.).

USEPA preporučeni kriterij zdravstvenih učinaka na morske vode za kupanje baziran je na prihvatljivijoj stopi gastroenteritisa u svezi sa plivanjem od 19 na 1000 plivača, a granica je 33 enterokoka na 100 ml u geometrijskom prosjeku ne manje od 5 uzoraka jednakomjerno lociranih tijekom 30 dana (USEPA 1986.). Na bazi tog kriterija može se očekivati 25 do 40 slučajeva gastrointestinalnih simptoma na 1000 osoba izloženih morskoj vodi koja sadrži koncentraciju od 100 enterokoka na litru. U hipotetskoj populaciji od milijun ljudi može se očekivati prosječno 25.000 do 45.000 slučajeva, a daljnje ekstrapolacije na normalnu turističku i lokalnu populaciju u raznim regijama svijeta, naročito u tropskim i subtropskim klimatskim uvjetima, naglašavaju tu problematiku (Saliba i Helmer 1990.).

Nasuprot Cabelli tipu studije na čijim su primjerima načinjene brojne studije u Ujedinjenom Kraljevstvu, koristi se pristup randomiziranih kontrolnih studija. Ta kasnija metoda pokazala se komplementarnom prije navedenoj.

Kada bi se pojednostavljeno uzelo u razmatranje i ekstrapoliralo USEPA kriterije, uvažavajući naročito klimatološke i socioekonomske specifičnosti, za Mediteransku regiju moglo bi se doći do sljedećih prosudbi:

- a) očekivanje 25-40 slučajeva na 1000 osoba izloženih morskoj vodi s koncentracijom od 100 enterokoka u 100 ml;
- b) pretpostavljajući da kohorta turista u Mediteranskoj regiji koja se kupuje čini 50% od ukupne populacije Mediteranskoga pučanstva oko 130 milijuna autohtonoga stanovništva plus oko 100 milijuna turista, moglo bi se očekivati između 3-4, 8 milijuna slučajeva u toj regiji u godini dana.

Zaključci

1. Imajući u vidu navedene podatke i činjenice valjalo bi i u nas obzirom na strategijsko opredjeljenje naše zemlje za intenzivan razvoj turizma, proučiti sve moguće rizike po zdravlje u turističkoj i rezidencijalnoj populaciji u našoj zemlji.
2. Bilo bi korisno u tom svjetlu u nas uvesti nužne standarde kvalitete voda za kupanje (morskih i slatkih) i rekreacijskih voda.
3. Nakon tako uređenih i provedenih standarda i kriterija, valjalo bi pristupiti prosudbama rizika za svaka specifična lokalna rekreacijska područja i temeljem rezultata javno planirati njihove zdravstvene posljedice.
4. Trebalo bi razviti specifične djelatnosti unutar javne zdravstvene službe, medicinske oceanologije, turističke medicine i kliničke epidemiologije.

Literatura

1. Borrego, J. J., Romero, P. and Marino, F. (1988). Epidemiological study on bathers from selected beaches in Malaga. Unpublished report.
2. Cabelli, V. J., (1983). Health effects criteria for marine recreattional waters. R and D report No. EPA-600/1-80-031/ US EPA, Research Triangle Park, N. C.
3. Cabelli, V. J. et al. (1984). A marine recreational water quallity criterion consistent with indicator concepts and risk analysis. Journal of the Water Pollution Control Federation, 55:1306-1314.

4. Colley, J. R. T. (1990). Epidemiological data on health impact of recreational (marine waters). Paper presented at WHO Working group on health impact from human exposure to recreational waters, Rimini 27. February - 2 March 1990.
5. Čiček, J.: Izvješće sa sastanka eksperata WHO Regional office for Europe : Assessment of Health Risks from Marine Pollution in the Mediterranean. Long-term Programme for Pollution Monitoring and Research in the Mediterranean Sea (MED/POL Phase II/WHO and UNEP.
6. De Flora, S., Bagnasco, M. and Zanacchi, P.: (1991). Genotoxic, carcinogenic, and teratogenic hazards in the marine environment, with special reference to the Mediterranean Sea. *Mutat. Res.*, 258:285-320.
7. EEC (1976) Council Directive of 8 December 1975 concerning the quality of bathing waters (76/160/EEC). Official Journal of the European Communities, No. L31:1-4.
8. EEC (1976) Council Directive of 4 May 1976 on pollution caused by certain dangerous substances discharged into the aquatic environment of the Community (76/464/EEC) Official Journal of the European Communities L 129:23-29.
9. EEC (1982) Communication from the Commission to the Council on dangerous substances which might be included in List I of Council Directive 76 /464/EEC. Official Journal of the European Community, C 176 : 3-10.
10. EEC (1988) Quality of bathing water, 1983-1986. Fifth Report Document EUR 11588, Commission of the European Communities, Luxembourg.
11. Fattal, B. and Shual, H. I. (1988). Epidemiological research on the relationship between the microbial quality of coastal seawater and morbidity among bathers on Israeli Mediterranean beaches M. A. P. Technical Report Series No. 20. UNEP, Athens.
12. Fattal, B. and Shual, H. I. (1991). The relationship between the microbiological quality of coastal seawater and rotavirus induced gastroenteritis among bathers in Mediterranean Israeli beaches. M. A. P. Technical Report Series, No 46, UNEP, Athens.
13. Toulon, G., Maurin, J., Quoi, N. N. and Martin Bouyer, G. (1983) Eau de la morbidité humaine en relation avec la pollution bactériologique des eaux de baignade en mer. *Revue française des Sciences de l'Eau*, 2 (2): 127-143.
14. Fleisher, J. M., Jones, F., Kay, D., Stanwell-Smith, R., Wyer, M., and Morano, R. Water and non water related risk factors for gastroenteritis among bathers exposed to sewage contaminated marine waters. *International Journal of Epidemiology*, 1993, 22(4): 698-708.
15. Godfree, A., Jones, F. and Kay, D. (1990). Recreational water quality. The management of environmental health risks associated with sewage discharges. *Marine Pollution Bulletin*, 21 (9): 414-422.
16. Kay, D., Fleisher, J. M., Salamon, R. L., Jones, F., Wyer, M. D., Godfree, A. F., Zelenauch-Jaequotte, Z., Shore, R.: Predicting likelihood of gastroenteritis among bathers exposed to sewage contaminated marine waters. *International Journal of Epidemiology* 1993., 22(4):698-708
17. Mujeriego, R., Bravo, J. M. and Feliv, M. T. (1982). Recreation in coastal waters - Public health implications. VI es Jurées Etud. Pollutions, Cannes, pp 585-594, E-I-E-S-M-, Monaco.

18. Philipp, R., Pond, K., and Rees, G. Litter and medical waste on bathing beaches in England and Wales. *British Medical Journal* 1993: 306, 1042.
19. Philipp, R., Risk assessment of health problems associated with recreational exposure to sea water in Plymouth, England, A Report for the WHO Regional Office for Europe. *Environmental Epidemiology Report No 143*. University of Bristol pp 120.
20. Philipp, R.: Health and safety aspects of recreational water exposure. *Communicable Disease Report* 1989, No 32, 3-4.
21. Shuval, H. I. (1986) Thalassogenic diseases. *UNEP Regional Seas Reports and Studies No 79*. UNEP, Geneva.
22. *Water Quality International '94 IAWQ 17 th Biennial International Conference*, 24-29 July 1994. Budapest, Hungary. Conference Preprint Book 3. Health Related Water Microbiology.
23. Wheeler, D. (1990) The real risks of bathing in water contaminated by sewage. *Environmental Health*, 98 (10): 285-287.

KAZALO AUTORA

STRANICA

BR.	AUTOR	RAD BR.	KNJIGA 1	KNJIGA 2
1.	AXE, PHILIP	(7.01)		325
2.	BARBALIĆ, SANJA	(2.05)	289	
3.	BERAKOVIĆ, BORIS	(1.05;6.02)	95	209
4.	BERAKOVIĆ, MARIJA	(2.09)	321	
5.	BIONDIĆ, BOŽIDAR	(4.03)		31
6.	BIONDIĆ, DANKO	(5.05)		169
7.	BIONDIĆ, RANKO	(4.03)		31
8.	BIRD, PAUL	(7.01)		325
9.	BJEDOV, TODOR	(6.11)		283
10.	BOGNAR, ANDRIJA	(8.03)		449
11.	BOJANIĆ, DAVOR	(7.02)		333
12.	BOJANIĆ, FANI	(1.14;2.08)	189,311	
13.	BONACCI, OGNJEN	(2.01)	253	
14.	BOROVEČKI, DUNJA	(3.08)	561	
15.	BOROVIĆ, DAMIR	(4.08)		83
16.	BOŠKOVIĆ DRAŽEN	(1.13)	179	
17.	BOŽIČEVIĆ, SREČKO	(4.01)		15
18.	BRILLY, MITJA	(5.07)		181
19.	BRITVIĆ, VJEKOSLAV	(4.07)		75
20.	BRNIĆ-LEVADA, DARKO	(6.09)		263
21.	BULLOCK, G.N.	(7.01)		325
22.	CARIĆ, MARINA	(9.02)		497
23.	CESAR, DOBROSLAV	(2.16)	387	
24.	CESAREC, KSENIJA	(3.06)	545	
25.	CHADWICK, ANDREW	(7.01)		325
26.	CURIĆ, ZORAN	(8.04)		
27.	ČAPKA, BORIVOJ	(8.01)		433
28.	ČETINA, MATJAŽ	(7.07;7.08)		377,385
29.	ČIČEK, JOSIP	(1.16;2.18;9.03;9.04)	215,401	507,519
30.	ČOVIĆ, VESNA	(6.12)		295
31.	ČUBRIĆ, SREČKO	(4.12)		115
32.	ĆOSIĆ-FLAJSIG, GORANA	(2.20)	415	
33.	DAVIDSON, M.A.	(7.01)		325
34.	DEDUŠ, BOŽIDAR	(1.13)	179	
35.	DRAGIČEVIĆ, IVAN	(4.05)		53

36.	DUKARIĆ, FRANJO	(4.03)		31
37.	ĐUROKOVIĆ, ZORAN	(2.14;6.09)	361	263
38.	FILIPOVIĆ, BORIS	(2.23)	439	
39.	FILIPOVIĆ, MIRA	(7.04)		349
40.	FRANIĆ, ZDENKO	(2.16;2.17)	387,395	
41.	FRANKOVIĆ, BORISLAV	(6.01)		201
42.	FRITZ, FRANJO	(2.01)	253	
43.	GABRIĆ, NIKOLA	(2.02)	267	
44.	GAJIĆ-ČAPKA, MARJANA	(3.01)	499	
45.	GEREŠ, DRAGUTIN	(1.01;1.07;1.08;2.19)	49,111,123,409	
46.	GJETVAJ, GORAN	(7.12)		421
47.	GLASNOVIĆ, DRAŽEN	(3.05)	535	
48.	GLAVAŠ, BERISLAV	(8.05)		471
49.	GOLUŽA, MATO	(6.12)		295
50.	GRGIĆ, BRANKO	(3.06;6.03)	545	215
51.	GRŽETIĆ, ZVONKO	(9.01)		487
52.	GUCUNSKI, DRAGICA	(2.13)	353	
53.	GUŠTIN, ANDREJ	(6.06)		239
54.	HABEKOVIĆ, DOBRILA	(6.07)		247
55.	HANIČAR, DAVOR	(2.14)	361	
56.	HERENDA, JOSIP	(2.12)	343	
57.	HLEVNJAK, BRANKO	(4.05)		53
58.	HRELJA, HUSNO	(6.10)		275
59.	HROMATKO, IVAN	(1.19)	239	
60.	HRUSTIĆ, SALIH	(1.17)	225	
61.	HUSNJAK, STEVO	(6.04)		223
62.	ILIĆ SUZANA	(7.01)		325
63.	IVANČEVIĆ, VICE	(1.18)	231	
64.	IVANČIĆ, BOGDAN	(2.10)	327	
65.	JASPRICA, NENAD	(9.02)		497
66.	JOVIĆ, VINKO	(4.08;7.02;7.09)		83,333,393
67.	JURAS, JOSIP	(3.03)	521	
68.	JURAS, VJERA	(3.03)	521	
69.	JURIĆ, VEDRAN	(7.09)		393
70.	KADIĆ, DJURO	(2.27)	481	
71.	KEREKOVIĆ, ALAN	(4.08)		83
72.	KISEGI, MIHOVIL	(3.05)	535	
73.	KOLBAH, SLOBODAN	(4.12)		115

74.	KOLOVRAT, IVAN	(1.02)	59	
75.	KORDEK, STJEPAN	(2.22)	431	
76.	KOS, ZORKO	(2.26)	473	
77.	KOVAČ, JADRANKA	(2.16)	387	
78.	KRIŠTOFEK, BRANKO	(4.07)		75
79.	KRITOVAC, FEDOR	(1.04)	85	
80.	KRZYK, MARIO	(7.06;7.07)		369,377
81.	KUSPILIĆ, NEVEN	(7.03)		341
82.	KUZMANIĆ, VEDRANA	(1.03)	75	
83.	LALIĆ, BOGDAN	(5.02)		137
84.	LALIĆ, OZREN	(2.22)	431	
85.	LEDER, NENAD	(9.01)		487
86.	LIPNJAK, GORANA	(1.15)	203	
87.	LOZIĆ, IVO	(2.03)	273	
88.	MAGDALENIĆ ANTUN	(4.05)		53
89.	MARAČIĆ, MANDA	(2.16;2.17)	387,395	
90.	MARGETA, JURE	(1.03)	75	
91.	MAROVIĆ, GORDANA	(4.10)		101
92.	MARUŠIĆ, JOSIP	(1.02;2.24;6.01)	59,449	201
93.	MATIJEVIĆ-KUŠTER, VESNA	(6.08)		253
94.	MAYER, BRANIMIR	(5.08)		189
95.	MIHALJEVIĆ, MELITA	(2.13)	353	
96.	MIHELČIĆ, DRAGUTIN	(1.08;1.09)	123,135	
97.	MIJUŠKOVIĆ-SVETINOVIĆ, TATJANA	(7.05)		361
98.	MIKOŠ, MATJAŽ	(2.06)	297	
99.	MILANOVIĆ, ZLATKO	(1.11)	157	
100.	MILER, ČEDOMIR	(7.11)		411
101.	MILETA, MARINA	(3.02)	513	
102.	MIŠETIĆ, STJEPAN	(6.01;6.05;6.08)		201,233,253
103.	MOKOS, DUBRAVKA	(1.19)	239	
104.	MRAKOVČIĆ, MILORAD	(6.05;6.08)		233,253
105.	NESPOR, VLADO	(P.02)	31	
106.	NESTROY, OTHMAR	(P.01)	19	
107.	NIKOLIĆ, STJEPAN	(2.11)	335	
108.	NOVOSELIĆ, DANIJELA	(2.13)	353	
109.	OBRANIĆ, ALFRED	(2.15)	373	
110.	ORLIĆ, MIRKO	(3.07)	553	
111.	OŽANIĆ, NEVENKA	(5.03;5.04)		147159
112.	PANDŽIĆ, KREŠO	(3.04;3.05;3.06)	529,535,545	

113.	PAVIČIĆ, ANTE	(4.02)		23
114.	PAVIĆ, IRENA	(5.06)		175
115.	PEMIĆ, ADOLF	(7.06)		369
116.	PENAVIĆ, JOZO	(5.06)		175
117.	PENZAR, BRANKA	(3.04)	529	
118.	PENZAR, IVAN	(3.04)	529	
119.	PERICA, RAJKO	(4.07)		75
120.	PETKOVIĆ, ANDRINO	(1,09)	135	
121.	PETRAŠ, JOSIP	(1.12)	165	
122.	PETRIČEC, MLADEN	(6.03)		215
123.	PETROVIĆ, MIJO	(1.08)	123	
124.	PLANTIĆ, KREŠIMIR	(5.06)		175
125.	POPE, D.J.	(7.01)		325
126.	PREDOVAN, NADE	(6.14)		315
127.	PRŠIĆ, MARKO	(7.03)		341
128.	RAJAR, RUDI	(7.08)		385
129.	RAVLIĆ, NENAD	(1.13)	179	
130.	REDŽEPOVIĆ, SULEJMAN	(2.28)	487	
131.	RENIĆ, ANTE	(4.02)		23
132.	REŽEK, TEA	(4.09)		93
133.	RIBANOVIĆ, JOSIP	(8.02)		441
134.	ROJE-BONACCI, TANJA	(4.11)		107
135.	ROMIĆ, DAVOR	(2.07)	303	
136.	ROMIĆ, MARIJA	(2.07)	303	
137.	RUBINIĆ, JOSIP	(5.03;5.04)		147,159
138.	SEČEN, VLADIMIR	(6.04)		223
139.	SELETKOVIĆ, ZVONKO	(1.18)	231	
140.	SENČAR, JASMINKA	(4.10)		101
141.	SEVRUK, BORIS	(P.02)	31	
142.	SIJERKOVIĆ, MILAN	(8.01)		433
143.	SLAMAR, TOMISLAVA	(3.05)	535	
144.	SLIŠKOVIĆ, IVAN	(4.04)		41
145.	SMIRČIĆ, ANTE	(8.05;9.01)		471,487
146.	SMOLJO, ANTON	(6.13)		303
147.	SRAKA, MARIO	(6.04)		223
148.	STAMPF, ĐUKA	(2.16)	387	
149.	STEINBAUER, MIROSLAV	(1.19)	239	
150.	STIPIĆ, NIKOLA	(2.28)	487	
151.	STOJIĆ PETAR	(4.06)		65
152.	ŠĆURIC, SVJETLANA	(4.12)		115
153.	ŠEGO, BERISLAV	(4.12)		115
154.	ŠILJKOVIĆ, ŽELJKA	(1.10)	147	

155.	ŠIMUNIĆ, IVAN	(2.28)	487	
156.	ŠIMUNOVIĆ, IVO	(2.08)	311	
157.	ŠIMUNOVIĆ, VJEKOSLAV	(8.02)		441
158.	ŠIRCA, ANDREJ	(7.08)		385
159.	ŠOBOT, SLAVKO	(4.09)		93
160.	ŠOJAT, VIŠNJA	(3.08)	561	
161.	ŠTURLAN, STJEPAN	(1.02)	59	
162.	ŠURMANOVIĆ, DAGMAR	(6.05;6.08)		233,253
163.	ŠVEL, BORIS	(2.11)	335	
164.	ŠVONJA, MIRJANA	(2.05;6.03;8.05)	289	215,471
165.	TADIĆ, LIDIJA	(2.27)	481	
166.	TADIĆ, ZDENKO	(2.27;6.09)	481	263
167.	TEDESCHI, STANISLAV	(2.02;6.01)	267	201
168.	TELIŠMAN, ŽELJKO	(2.15)	373	
169.	TIKVIĆ, IVICA	(1.18)	231	
170.	TOMAŠKOVIĆ, NATALIJA	(6.05;6.08)		233,253
171.	TOMIČIĆ, BERISLAV	(1.06)	103	
172.	TOMIĆ, FRANE	(2.07;2.28)	303,487	
173.	TRNINIĆ, DUŠAN	(3.05)	535	
174.	TROPAN, LJUDEVIT	(1.04)	85	
175.	TUSIĆ, VLADIMIR	(2.23)	439	
176.	TUŠAR, BOŽENA	(2.04)	281	
177.	URUMOVIĆ, KOSTA	(1.08;4.05)	123	53
178.	VAZDAR, TATJANA	(4.05)		53
179.	VIDAČEK, ŽELJKO	(2.27;6.04)	481	223
180.	VIDMAR, ANDREJ	(5.07)		181
181.	VIDOŠ, DAMIR	(2.25;5.01)	463	127
182.	VILIČIĆ, DAMIR	(9.02)		497
183.	VODOPIJA, MARIJAN	(2.20)	415	
184.	VRANJEŠ, MIJO	(2.25;5.01)	463	127
185.	VRDOLJAK, SANKA	(2.08)	311	
186.	VUKELIĆ, ZVONIMIR	(7.10)		401
187.	ZAHLAVOVA, LUBICA	(P.02)	31	
188.	ZANINOVIĆ, KSENJA	(3.03)	521	
189.	ZMAIĆ, BOJAN	(2.21)	423	
190.	ŽAGAR, DUŠAN	(7.08)	385	



Obavlja djelatnost iz sljedećih područja:

TERENSKI ISTRAŽNI RADOVI

- Inženjerska geologija i hidrogeologija
- Geotehničko istražno bušenje
- Ispitivanje tla "in situ"
 - Geofizička ispitivanja
 - Ispitivanje svojstava tla statičkim penetrometrom, presiometrom i krilnom sondom
 - Ispitivanje vodopropusnosti presio-permeametrom i probnim crpljenjem

LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

- Klasifikacijska ispitivanja tla
- Statička ispitivanja mehaničkih osobina tla i stijena
- Dinamička ispitivanja mehaničkih osobina tla

PROMETNE GRAĐEVINE

Geotehničko projektiranje, kontrolna i tekuća ispitivanja i nadzor nad izvedbom.

- Usjeci, zasjeci i nasipi
- Temeljenje mostova
- Potporne konstrukcije
- Stabilizacija kličena
- Tuneli i podzemne prostorije

HIDROTEHNIČKE GRAĐEVINE

Projektiranje, kontrolna i tekuća ispitivanja i nadzor nad izvedbom.

- Nasute brane
- Hidrotehnički tuneli
- Hidrotehnički nasipi
- Temeljenje crpnih stanica
- Probni i eksploatacijski bunari malog promjera

VISOKOGRADNJA

Projektiranje i nadzor nad izvedbom.

- Plitko i duboko temeljenje
- Osiguranje građevnih jama

POSEBNE AKTIVNOSTI

- Geotecnika u zaštiti okoliša
- Seizmička mikrorajonizacija
- Podvodna geotecnika
- Mehanika stijena u naftnom inženjerstvu
- Izrada programa osiguranja kakvoće
- Revizije, vještačenja i atestiranja
- Motrenje građevina u izgradnji i korištenju
- Razvoj geotehničke opreme i mjernih uređaja

IMATE PROBLEMA S VODOM? MI IMAMO RJEŠENJE!

PROIZVODNI PROGRAM

- armatura za vodu, paru i vrelu vodu, plin i naftu u kvaliteti nodularnog i sivog lijeva, obojenih metala i zavarene izvedbe iz čelika
- armatura za brodogradnju
- armatura za navodnjavanje
- specijalna armatura
- kanalska armatura
- fazonski komadi za cijevi od lijevanog željeza
- fazonski komadi tipa TYTON za cijevi od lijevanog željeza
- fazonski komadi za plastične cijevi
- fazonski komadi tipa ISO za plastične cijevi
- fazonski komadi za azbestne cijevi
- uređaji za pročišćavanje otpadnih voda



PROGRAM ARMATURE SADRŽAVA

- zasuni: plosnati, ovalni, okrugli uskladeni s DIN-om 3352; DN 40-1200; NP 0,25-1,6-2,5-4,0 MPa
- leptirasti zatvarači s jednim ekscentrom DN 100-600; NP 1,6 MPa
- leptirasti zatvarači s dvostrukim ekscentrom DN 400-3000; NP 1,6-2,5 MPa
- leptirasti zatvarači s diskom u sredini DN 50-500; NP 1,0 MPa
- meko zaptivajući zasuni tip EV, EVO, EVKS DN 25-400; NP 1,6 MPa
- leptirasto-povratni ventili (priklonci) DN 200-1800; NP 1,6-2,5 MPa
- povratni ventili DN 50-400; NP 1,0-1,6-2,5-4,0 MPa
- hidrant podzemni DN 50, 80; NP 1,6 MPa
- hidrant nadzemni DN 80, 100; NP 1,6 MPa
- hidrant nadzemni tip BAROK DN 80, 100; NP 1,6 MPa
- automatsko odzračeni-dozračni ventili od DN 50-200; NP 1,0-1,6 MPa
- nivo ventili od DN 40-500; NP 0,6-1,6 MPa
- ventili ravni, kutni od DN 20-300; NP 0,4-0,6 MPa
- kuglaste slavine DN 50-300; NP 1,0-1,6-2,5 MPa
- ogrlice za priključak na cjevovod sa ventilom, na čelične, azbestno-cementne i plastične cijevi
- usisne košare DN 50-1000; NP 0,4 MPa
- filtri grubi DN 40-200; NP 1,6MPa
- brodska armatura
- kompenzacija DN 50-600; NP1,6 MPa
- montažno-demontažni komadi DN80-1600; NP 2,5MPa
- oprema za navodnjavanje: hidranti, ispusti, preljevi
- specijalna armatura



METALSKA INDUSTRIJA VARAŽDIN
dioničko društvo

REPUBLIKA HRVATSKA

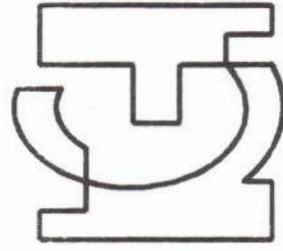
42000 Varaždin, Fabijanska 33

TELEFON · FERNSPRECHER · TELEPHONE (038) 042 47-211

TELEFAX · TELEFAX · TELEFAX (038) 042 48-804

POŠTANSKI PRETINAC · POSTFACH · P.O.BOX

93



INSTITUT GRAĐEVINARSTVA HRVATSKE ZAVOD ZA HIDROTEHNIKU - ZAGREB

J.Rakuše 1, 41 000 ZAGREB
Tel. 01/530-701 * Fax 01/534-737

Obavlja djelatnost iz slijedećih područja:

ISTRAŽIVANJA I MJERENJA

- *hidrometrijska mjerenja
- *ispitivanje kvalitete vode
- *ispitivanje vodonepropusnosti

MODELIRANJE U HIDROTEHNICI

- *fizikalno modeliranje
- *matematičko modeliranje

EKOLOŠKO INŽENJERSTVO

- *zaštita voda
- *sanitarne deponije otpada
- *uređaji za pročišćavanje voda
- *podmorski ispusti

SANITARNA HIDROTEHNIKA

- Vodoopskrba
- *vodoopskrbni sustavi
- *objekti na sustavima
 - vodozahvatni objekti
 - uređaji za kondicioniranje
 - pumpne stanice
 - rezervoari

Kanalizacija

- *sustavi odvodnje sanitarnih i oborinskih otpadnih voda
- *objekti na sustavima
 - sifoni
 - pumpne stanice
 - retencijski bazeni

KONZULTANTSKE USLUGE



HIDROPROJEKT - ING

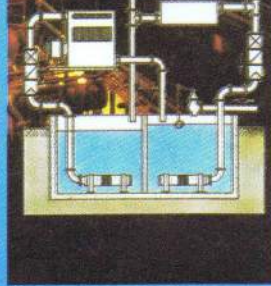
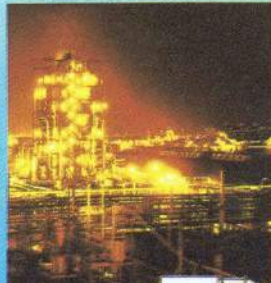
PODUZEĆE ZA PROJEKTIRANJE D.D.
ZAGREB, Draškovićeve 33 - 35
Telefon: 453-141, 453-146 • Telefaks: 415-408, 453-146

PROJEKTIRANJE I INŽENJERING

- Hidrotehnički objekti •
- Vodovod i kanalizacija naselja i industrije •
 - Objekti komunalnih djelatnosti •
 - Uređaji za kondicioniranje vode za piće •
- Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda naselja i industrije •
 - Regulacija vodotoka •
 - Melioracija polja •
- Plovni putovi i pristaništa •
 - Ekološki projekti •

PLEUGER

Unterwasserpumpen



kemoplast-trade d.d.

TVORNICA ZA PRERADU I PRIZVODNJU PLASTIČNIH MASA I TRGOVINU

ZADAR

Put Murvice 14-16
tel: 023 31 11 13
fax: 023 31 10 16

Predstavništvo ZAGREB

Kraljice Jelene br. 6
tel: 01 44 86 99
fax: 01 44 84 29

PREDSTAVLJAMO VAM IZ NAŠEG PROIZVODNOG PROGRAMA:

1. PVC CIJEVI - vinidurit

- | | | |
|----------|---|--|
| • PCN | - vodovodne cijevi za pritiske:
- 6 bara
- 10 bara
- 16 bara | - promjera DN 63 - DN 500 mm
- promjera DN 63 - DN 500 mm
- promjera DN 63 - DN 315 mm |
| • UKC | - cijevi za uličnu kanalizaciju | promjera ϕ 110 - ϕ 710 mm |
| • KCM | - cijevi za kućnu kanalizaciju | promjera ϕ 32 - ϕ 160 mm |
| • IC | - industrijske cijevi | promjera ϕ 20 - ϕ 710 mm |
| • TT i E | - cijevi za zaštitu TT i E kabela | |

2. PE CIJEVI - pekern®

- | | |
|---------|---|
| • PEELD | - vodovodne cijevi za pritiske 6 i 10 bara, promjera DN 20 - DN 63 mm (1/2" - 2") |
| • PEHD | - vodovodne cijevi za pritisak od 10 bara, promjera DN 20 - DN 225 mm |
| • PEHD | - cijevi za zaštitu optičkih kabela promjera 40 i 50 mm, 40-32-40-32
- klasično (uzdužno) i spiralno užljebljenje unutrašnje površine cijevi |
| • PEHD | - cijevi za plinovode za pritisak od 1 i 4 bara, promjera DN 25 - DN 225 |

3. SPOJNI DIJELOVI I PRIBOR

- | | |
|--|---|
| • za program PVC cijevi iz istog materijala: | lukovi, koljena, račve, redukcije, revizije, klizne spojke, priključci, ... |
| • za program PE cijevi: | MS spojnice, držači odstojanja |

PREPORUČAMO SE





opsjednuti Hrvatskom



Djelatnost

proizvodnja i distribucija pitke vode; odvodnja otpadnih voda; projektiranje i izvođenje instalacija vodovoda, kanalizacije, centralnog grijanja, klimatizacije i ventilacije; plinifikacija naselja i izrada plinskih priključaka, parovoda i toplovoda; hidrogeološka istraživanja i eksploatacijsko bušenje bunara; proizvodnja i montaža tehnološke opreme pod pritiskom (cisterne, bojleri, izmjenjivači toplote i dr.); obavljanje bravarskih i limarskih radova; proizvodnja i distribucija tehničkih plinova: kisik, disuplin, argon, ugljen dioksid, dušik i plinske mješavine; održavanje i popravak kućnih instalacija; servisiranje automatike uljnih i plinskih plamenika, te plinskih trošila; projektiranje, konzalting, nadzor nad izvođenjem radova, kontrola projektne dokumentacije, izrada idejnih projekata, te izrada ekonomsko-tehničkih elaborata.

vodovod osijek



Setting...

SET Inženjering, d.o.o.
Corjanovičeva 56, 41000 ZAGREB, tel/faks: (01) 220-655

CRPKE I ARMATURA SIGMA

TRADICIJA DUGA 125 GODINA

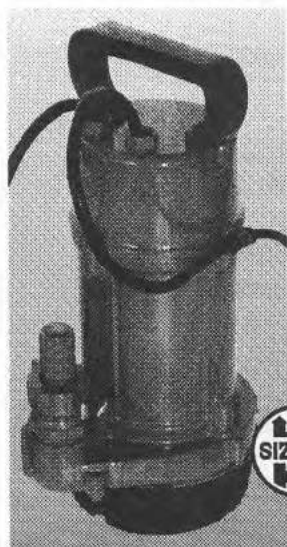
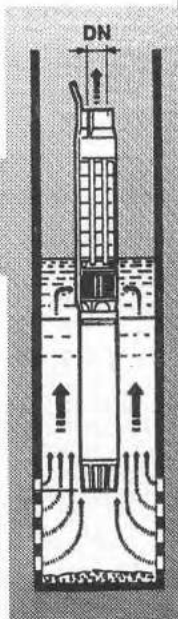
Iz našeg direktnog zastupničkog i distributerskog programa predstavljamo:

SIMA Nove Zamky

u okviru svojeg proizvodnog programa isporučuje vrlo kvalitetne bunarske crpke s potopljenim motorima u rasponu od 4" do 12" i to s motorima "Franklin" ili mokrim motorima vlastite proizvodnje.



SIMA



SLOVPUMP a.s.
Závadka nad Hronom
proizvodni program obuhvaća jednostepene crpke za vodu, potopljene drenažne crpke, horizontalne drenažne i muljne crpke (u stabilnoj i mobilnoj izvedbi s benzinskim i diesel motorima, bager crpke za vrlo guste i abrazivne medije, te vakuum crpke s vodenim prstenom).



SLOVPUMP..



SIGMA HODONÍN

SIGMA Hodonin
proizvodi u skladu s DIN normama različitu kvalitetnu armaturu za vodu i prateću opremu, a iz vrlo širokog asortimana naročito izdvajamo zasune s mekim (EPDM) i metalnim dosjedom.



SIGMA a.s.

Kao uvoznik i ovlaštenu distributer firme **SIGMIA a.s. Olomouc**, isporučujemo cjelokupni program horizontalnih i vertikalnih crpki za navodnjavanje i odvodnju, vodovodne i kanalizacijske sustave proizvođača.



SIGMA[®] LUTÍN



KUNZ HRANICE

Vrlo kvalitetan program vertikalnih propelnih i poluaksijalnih crpki za programe navodnjavanja i zaštite od voda, pouzdane i trajne jednostepene crpke za sustave vodovoda, kanalizacijske crpke, horizontalne višestepene, nisko i visokotlačne crpke za pitku vodu, hidroforski uređaji za manje i srednje objekte, te cijeli niz drugih crpki za vodu.

S pravim **KROFTA**[®] rješenjem - do čiste vode:

**KROFTA UREĐAJI USPJEŠNO SE VIŠE OD 45 GODINA
PRIMJENJUJU U ČITAVOM SVIJETU ZA
PROČIŠĆAVANJE INDUSTRIJSKIH I KOMUNALNIH VODA.**

Tijekom '94.g. u INA RAFINERIJU MLAKA na Rijeci sagrađen je UREĐAJ KROFTA tipa SANDFLOAT BP. Postignuti su vrlo značajni efekti pročišćavanja (svega 0,3 mg/l ulja), koji omogućuju ponovnu reciklažu. Na taj način bitno je smanjena dosadašnja potrošnja vode!

To je još jedan novi objekt, od danas uvršten u KROFTINU REFERENC LISTU (s preko 2100 uređaja) sagrađen u funkciji zaštite okoliša, prostora, zdravlja i kvalitete života ljudi.

KROFTA uređaji idealni su za primjenu pri izgradnji komunalnih uređaja za pročišćavanje pitkih i otpadnih voda u turističkim mjestima (osim već znanih prednosti odlično podnose velike oscilacije količina vode za obradu u zimskim i ljetnim mjesecima).

KROFTA ENGINEERING CORPORATION,
101 Yokun Av., P.O.Box:972, Lenox, MA, USA
KROFTA SA, Via Baroffio 6, CH-6900 Lugano, Switzerland

KROFTA ekskluzivni zastupnik u Hrvatskoj:
"EKOLON" d.o.o., 51000 RIJEKA, Liburnijska 5, Tel./Fax: 051/264-274

D-8611 BAUNACH/BAYERN
TEL. 09544 / 831 · TELEX 662721
TELETEXT (17) 954 480

INSTRUMENTI
&
INŽENJERING

ZASTUPNIK ZA HRVATSKU I SLOVENIJU
DIPL. ING. VICTOR ERRATH

ALIČEVA 12
SLO 61261 LJUBLJANA
TEL./FAX: ++ 386-61-142-9014



SEBA MESSTECHNIK

TELEFON: (0463)5808-0
TELEFAX: (0463)5808-5



Feldkirchner Straße 50
A-9020 Klagenfurt



FIL.B.IS. d.o.o.

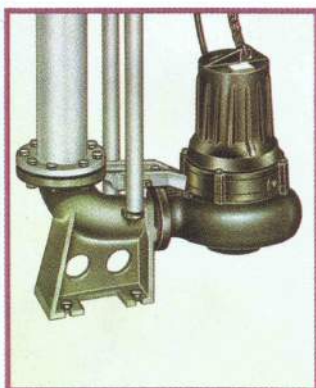
Sjedište: 41020 Zagreb, I. Šibla 9; tel. 01 68 33 11, fax 68 87 92
Predstavništvo: 43400 Virovitica, Vukovarska 7; tel. 046 72 23 60
fax 046 72 23 50
54000 Osijek, Drinska 16A tel. 031 44 682, fax 24 348

caprari

caprari
Modena

PUMPE: BUNARSKÉ, CENTRIFUGALNE
HORIZONTALNE I VERTIKALNE,
MULJNE ZA ČISTU, PRLJAVU
VODU I FEKALIJE

POGON: ELEKTROMOTOROM - DIESEL
MOTOROM - TRAKTOROM



Gruppo elettropompa per
servizio acquedottistico.



pioggia carnevali - Mantova

SUSTAVI ZA NAVODNJAVANJE: TIFONI - KIŠNA
KRILA - PIVOT SISTEMI CIJEVI - RASPRSKIVAČI -
PUMPE I PUMPNI AGREGATI

ING.1.GAZZINA - Canicossa

CENTRIFUGALNE PUMPE VELIKIH KOLIČINA
DOBAVE, STABILNE I POKRETNE S POGONOM NA
TRAKTOR, DIESEL MOTOR I ELEKTROMOTOR



ALESSANDRI - Scandiano
AGREGATI ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE
ENERGIJE, APARATI ZA ZAVARIVANJE



MOIOLI
Roverbella
ISTRAŽNI RADovi,
IZRADA BUNARA

Fimap
S.Bened.Po
CIJEVI I FILTERI
ZA DUBINSKE
BUNARE

POKROVITELJI

- JVP "Hrvatska vodoprivreda"
- Državna uprava za vode
- Ministarstvo znanosti i tehnologije
- UNESCO
- Državna uprava za zaštitu okoliša

ORGANIZATORI

- Hrvatski komitet za suradnju s Međunarodnim hidrološkim programom
- Hrvatsko društvo građevinskih inženjera
- Hrvatsko društvo za hidraulička istraživanja
- Hrvatsko društvo za odvodnju i navodnjavanje
- Hrvatsko društvo za velike brane
- Hrvatsko društvo za zaštitu voda i mora
- Hrvatsko geološko društvo
- Hrvatsko geografsko društvo
- Hrvatsko hidrološko društvo
- Hrvatsko meteorološko društvo

Predsjednik konferencije: prof.dr. Ognjen Bonacci

Glavni tajnik konferencije: Ljudevit Tropan

Znanstveni odbor:

prof.dr. Josip Marušić - predsjednik

dr. Božidar Biondić

prof. dr. Zdravko-Mihael Doliner

prof. dr. Darko Mayer

dr. Krešo Pandžić

doc. dr. Josip Rupčić

prof. dr. Tomislav Šegota

prof. dr. Kosta Urumović

prof.dr. Marijan Vodopija

Organizacijski odbor:

Dragutin Mihelčić - predsjednik

prof. dr. Andrija Bognar

mr. Božidar Deduš

dr. Dragutin Gereš

Vladimir Goatti

Salih Hrustić

Ivo Iličić

mr. Janja Milković

Branko Pejaković

Josip Rubinić

Franjo Vančina

