



Fakultet prirodoslovno-matematičkih
i odgojnih znanosti
Sveučilište u Mostaru



ZAŠTITA VODA U KRŠU

2. ZNANSTVENO–STRUČNA KONFERENCIJA S
MEĐUNARODNIM SUDJELOVANJEM

2nd SCIENTIFIC AND EXPERT CONFERENCE
WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION
Karst Water Management and Protection

Mostar, 15. – 16. 10. 2015.

2. ZNANSTVENO–STRUČNA KONFERENCIJA S
MEĐUNARODNIM SUDJELOVANJEM

2nd SCIENTIFIC AND EXPERT CONFERENCE
WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION
Karst Water Management and Protection

Mostar, 15. – 16. 10. 2015.

Zbornik radova

PROCEEDINGS

Mostar, rujan/september 2015.

Nakladnik / Publisher

Fakultet prirodoslovno matematičkih i odgojnih znanosti
Sveučilišta u Mostaru

Urednici / Editors

Prof. dr. sc Zora Pilić, doc. dr. sc. Dragan Škobić

Tisak / Print

FRAM ZIRAL, Mostar

Naklada / Circulation

100

CIP – Katalogizacija u publikaciji

Nacionalna i univerzitetska biblioteka Bosne i
Hercegovine, Sarajevo

627.1:502.17]:551.435.8 (082)

ZNANSTVENO-stručna konferencija s međunarodnim
sudjelovanjem Zaštita voda u
Kršu (2 ; 2015 ; Mostar)

Zaštita voda u kršu / 2. znanstveno-stručna
konferencija s
međunarodnim sudjelovanjem = 2nd scientific and expert
conference with
international participation Karst water management and
protection, Mostar,
15.-16. 10. 2015. - Mostar : Sveučilište, 2016. - 227
str. : ilustr. ; 25
cm

Bibliografija i bilješke uz tekst

ISBN 978-9958-16-055-4

COBISS.BH-ID 22829318

ZAKLJUČCI

2. ZNANSTVENO-STRUČNE KONFERENCIJE S MEĐUNARODNIM SUDJELOVANJEM „ZAŠTITA VODA U KRŠU“

Mostar 15. - 16. listopada 2015

Konferencija je okupila 74 sudionika iz zemlje i inozemstva (Slovenija, Hrvatska, Crna Gora i dr.), koji su priložili 46 sažetaka radova, tiskanih u Zborniku sažetaka (Knjiga sažetaka, 2. znanstveno-stručna konferencija s međunarodnim sudjelovanjem, Fakultet prirodoslovno matematičkih i odgojnih znanosti Sveučilišta u Mostaru, ur. Pilić Z. i Škobić D., listopad 2015).

Izlaganja prezentirana u sklopu 2. znanstveno-STRUČNE konferencije „Zaštita voda u kršu“ interdisciplinarnim pristupom obuhvatila su različitu problematiku zaštite vode i vodenih ekosustava u osjetljivim krškim područjima, kao i mogućnosti održivog upravljanja istim donoseći iskustva zemalja u okruženju i evropske zakonske okvire.

Kako voda ne poznaje administrativne granice koje je iscrtao čovjek, kao ni znanost niti znanje, jasno je kako se ni pitanje zaštite voda ne može promatrati unutar bilo kojih i bilo kakvih granica. To nužno upućuje na potrebu prekogranične i međuentitetske suradnje. Jedino takav pristup može biti jamstvo ne samo kvalitetnije zaštite krških voda, nego i osiguranja održivog razvijanja. Na Konferenciji su prihvaćeni slijedeći zaključci:

1. Krška područja su vrlo osjetljiva, a njegove hidrogeološke značajke su takve da pogoduju vrlo brzom širenju onečišćenja i zagađenja vode. Kako su krški vodeni ekosustavi staništa za brojne organizme, među kojima je i niz specifičnih i endemičnih svojstava, vodena flora i fauna je već ugrožena različitim antropogenim pritiscima, što su potvrđili i rezultati istraživanja prezeniranih u sklopu ove konferencije. Također, predviđa se i daljnji trend nastavka i jačanja pritisaka na ove ekosustave kao posljedice predstojećih promjena klime. Stoga je nužno iznaci adekvatne mјere zaštite, koje prije svega obuhvaćaju zaštitu njihovih staništa, te endemske i reliktnih svojstava, kao i stenoendemske vrste.
2. Nažalost, jedan od zaključaka konferencije upućuje i na činjenicu da BiH spada u kategoriju faunistički i florno najslabije istraženih zemalja u Europi. Podaci sustavnih istraživanja pojedinih skupina organizama datiraju iz 60. – 90. -tih

godina prošlog stoljeća. Novija istraživanja uglavnom su sporadična, ograničena na mali broj ciljanih skupina i rezultat su prvenstveno entuzijazma i rada znanstvenog i stručnog kadra, te njihovog osobnog angažmana. Situacija je poražavajuća kada se radi o istraženosti vodenih ekosustava, koja su staništa brojnih endemskih vrsta. Kako je u BiH pripremljen Nacrt Natura 2000 područja, ekološke mreže zaštićenih područja čije su granice određene temeljem neadekvatne znanstvene i stručne podloge, podertava se nužnost novih, sustavnih istraživanja krškog područja koja će biti podloga realnoj Natura 2000 mreži u BiH, ali i crvenom popisu ugroženih i endemskih vrsta, koji kao zavičajno značajne vrste trebaju ući u SDF obrasce Natura 2000 ekološke mreže BiH. Fauna i flora Bosne i Hercegovine je jedinstvena i predstavlja nacionalni resurs, jedan od važnih elemenata po kojima je Bosna i Hercegovina prepoznatljiva u svijetu, te je nužno intenzivirati znanstvena istraživanja prije nego što antropogenim aktivnostima bude dovedena u opasnost i uništena. Faunu i floru treba intenzivnije i dataljnije proučiti kako bismo znali što imamo, te što trebamo i možemo zaštитiti.

3. Izgradnja hidroenergetskih sustava, poljoprivredne melioracije, ali i invazivne vrste u krškim vodenim ekosustavima dodatno opterećeju ova staništa. Navedeni i drugi pritisci utječu i na samu kvalitetu vode za piće. Unatoč činjenici da su postignuta bitna poboljšanja vodoopskrbe, da su samo primjenom općih mjera, klasične crijevne antroponeze (trbušni tifus, bacilarna dizenterija, dječja zarazna žutica) gotovo eradicirane te se bilježe samo importirani oblici i da su hidrične infekcije/epidemije znatno rjede sa sve manjim brojem bolesnika s blagom kliničkom slikom, ipak zbog nedovoljne zaštite površinskih voda u kršu mogu postojati rizici nastanka hidričnih infekcija/epidemija u vodovodnim sustavima. Najveći stupanj rizika imaju stanovnici s područja malih vodovoda za opskrbu područja do 10.000 stanovnika, čiji vodozahvati nisu zaštićeni od zagađenja otpadnim i fekalnim vodama. Veliki sustavi za vodoopskrbu područja s više od 10.000 stanovnika, bilo kao regionalni sustavi ili grupni vodovodi, također su ugroženi u nekim svojim dijelovima.
4. Uzimajući u obzir prethodne zaključke, od osobite je važnosti odabir odgovarajuće tehnologije pročišćavanja voda, kao preduvjeta učinkovitije kontrole i zaštite kako ljudi tako i cijelokupne biote u njima, s obzirom na činjenicu kako je u krškom području mali stupanj samopročišćavanja voda.

Jedna od predloženih tehnika je i primjena membranskih separacijskih procesa: ultrafiltracije (UF), nanofiltracije (NF) i reverzne osmoze (RO) čime se može osigurati potrebna kakvoća zdravstveno ispravne vode za piće za potrebe stanovništva i industrije uz minimalnu potrošnju kemikalija i potrebnog prostora za uređaj. Primjenom membranskih procesa u obradi otpadnih voda u membranskom bio reaktoru (MBR) postiže se visoka kvaliteta obrađene vode koja se može ponovno upotrijebiti za potrebe industrije ili navodnjavanja, a prilikom upuštanja u prirodne recipijente postiže se i osigurava zaštita voda krških područja od onečišćenja. Interdisciplinarni pristup ovoj problematici, koji obuhvaća i tzv. eko-informatiku (kao presjek informatike, ekologije i zaštite okoliša) može omogućiti sustavno izučavanje i predlaganje mjera za zaštitu voda korištenjem simulacijskih modela sustava za pročišćavanje voda, koji je adaptiran na promjene i krizne situacije nastale uslijed onečišćenja voda.

5. Kako bi imali kompletну sliku o kvaliteti različitih vrsta voda uz fizikalno-kemijska, mikrobiološka i biološka ispitivanja neophodno je u istraživanja uključiti i radiološke analize uzoraka vode. S obzirom da se radioaktivni elementi nalaze u prirodi kao i činjenica da se velike količine različitih vrsta otpada nepropisno skladište od izuzetne važnosti je u monitoring voda uključiti i radiološka ispitivanja.
6. Zaštita prostora ne znači konzerviranje prostora nego održivo korištenje i iznalaženje balansa između korištenja voda i zaštite okoliša. Mjere i aktivnosti zaštite moraju biti odabrane na način da ne zaustavljaju neophodan gospodarski razvitak. Stoga je prijeko potrebno da znanost i struka, daju prave, znanstveno utemeljene preporuke i savjete, te smjernice koje će donositeljima odluka omogućiti doношење odluka koje će dovesti do učinkovitog upravljanja, ali i zaštite resursa u krškom području. Isto tako, nameće se i zaključak da premda su elektroenergetski i hidroenergetski i drugi gospodarski objekti relativno česti izvori pritisaka na ekosustave znanstvenici ne bi smjeli *a priori* negativno pristupati nužnom razvoju društva, već bi u svjetlu klimatskih promjena trebali zajedničkim interdisciplinarnim pristupom modificirati načine gospodarenja vodama uzimajući u obzir posebnosti prirodnih krških vodnih režima, fizikalno-kemijskih i bioloških pokazatelja kakvoće krških voda.
7. Primjena i prilagodba krškim područjima naprednih statističkih tehnika i metoda, matematičkog modeliranja predstavlja nužnost i korisnost u

vrednovanju i interpretaciji velikih i složenih skupova podataka dobivenih monitoringom. Rezultati ovdje prikazanih analiza doprinose boljem oblikovanju monitoringa, a time i učinkovitog upravljanja vodnim resursima.

8. Naophodna je dobra pravna i politička suradnja na međunarodnoj razini, razvoj planova upravljanja vodnim resursima sukladnim s EU direktivama, te podizanje javne svijesti kroz događanja kao što je i ova konferencija.
9. Nedostatak cjelovitog pristupa upravljanju i zaštiti voda u kršu potrebno je u što bližoj budućnosti otkloniti izradom cjelovitog plana gospodarenja, uređenja i zaštite krških područja. U tom kontekstu potrebna je nova razvojna osnova i pokretanje međunarodnih, državnih, regionalnih i lokalnih snaga.
10. Zbog osjetljivosti vodenih staništa u kršu potrebno je raspolagati dovoljno velikim brojem podataka na osnovu kojih se može pouzdano planirati očuvanje tih staništa. Također, nužno je da se kroz akcijske planove razrade programi održivog razvoja krških područja, a koji bi se koristili pri sastavljanju prostorno-planskih dokumenata.

Mostar, 16. listopada 2015. godine

ORGANIZACIJSKI ODBOR:

Predsjednik - prof. dr. sc. Mario Vasilj, dekan

Članovi:

- Prof. dr.sc. Nevenko Herceg
- Prof. dr.sc. Zora Pilić
- Prof.dr.sc. Svetlana Stanić Koštroman
- Doc.dr.sc. Mirjana Miličević
- Doc.dr.sc. Stanislava Talić
- Doc.dr.sc. Dragan Škobić
- Doc.dr.sc. Lejla Knezović
- Doc.dr.sc. Ilijana Odak
- Doc.dr.sc. Anđelka Lasić
- Doc.dr.sc. Anita Martinović-Bevanda
- Anita Dedić, asistent

ZNANSTVENO-STRUČNI ODBOR

Predsjednica - prof. dr. sc. Zora Pilić, prodekanica za znanost i međunarodnu suradnju

Članovi (abecednim redom):

- Prof. dr. sc. Marija Bralić, KTF, Sveučilište u Splitu
- Prof. dr. sc. Vlasta Bartulović, Sveučilište u Dubrovniku
- Doc. dr. sc. Mirjana Čurlin, PBF, Sveučilište u Zagrebu
- Prof. dr. sc. Paula Durbešić, PMF, Sveučilište u Zagrebu
- Prof. dr. sc. Branko Glamuzina, Sveučilište u Dubrovniku
- Prof.dr.sc. Dubravka Hafner, FPMOZ, Sveučilište u Mostaru
- Prof. dr. sc. Nevenko Herceg, FPMOZ, Sveučilište u Mostaru
- Prof. dr. sc. Nenad Jasprica, Sveučilište u Dubrovniku
- Prof. dr. sc. Mladen Kučinić, PMF, Sveučilište u Zagrebu
- Doc. dr. sc. Marko Miliša, PMF, Sveučilište u Zagrebu
- Prof. dr. sc. Snježana Musa, FPMOZ, Sveučilište u Mostaru
- Dr. sc. Dario Omanović, Viši znanstveni suradnik, IRB, Zagreb
- Mr. sc. Roman Ozimec, samostalni istraživač
- Prof. dr.sc. Jerko Pavličević, APTF, Sveučilište u Mostaru
- Prof. dr. sc. Dražen Perica, Sveučilište u Zadru
- Prof. dr. sc. Anđelka Plenković Moraj, PMF, Sveučilište u Zagrebu
- Prof. dr. sc. Maja Prskalo, GF, Sveučilište u Mostaru
- Doc. dr. sc. Mirko Ruščić, PMF, Sveučilište u Splitu
- Prof. dr. sc. Mladen Smoljanović, Medicinski fakultet, Sveučilište u Splitu
- Dr. sc. Nataša Smolar-Žvanut, Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana
- Prof. dr. sc. Svetlana Stanić Koštroman, FPMOZ, Sveučilište u Mostaru
- Prof. dr. sc. Marina Trgo, KTF, Sveučilište u Splitu
- Prof. dr. sc. Jaroslav Vego, GF, Sveučilište u Mostaru
- Prof. dr. sc. Antonija Višekruna, FPMOZ, Sveučilište u Mostaru

Sadržaj

POSEBNOSTI EKOLOŠKIH PROCESA URBANIH PRITISAKA U KRŠKIM VODOTOCIMA.....	10
SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT PLANNING IN VIPAVA RIVER BASIN (SLOVENIA) BASED ON DIALOGUE AND COLLABORATION BETWEEN SCIENCE AND SOCIETY	20
INFJEKTIVNI RIZICI VODOOPSKRBE U SPLITSKO-DALMATINSKOJ ŽUPANIJI	30
TVRDOĆA VODE - EKOLOŠKI ČIMBENIK KARDIOVASKULARNIH BOLESTI	60
KAKVOĆA VODE ZA PIĆE S POSEBNIM OSVRTOM NA KONCENTRACIJU MINERALA DETERMINATION OF GROSS ALPHA AND BETA ACTIVITY AND URANIUM	68
ISOTOPE CONTENT IN SPRING WATERS	77
TROPHIC STATE OF THE BLIDINJE LAKE BASED ON PHYSICOCHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF WATER	82
KVALITET VODA RIJEKE SPREČE I ODGOVARAJUĆIH PRITOKA PRIJE ULJEVANJA U AKUMULACIJU MODRAC	93
USPOREDBA FIZIKALNO-KEMIJSKIH SVOJSTAVA KRŠKIH RIJEKA I UTJECAJ ONEČIŠĆENJA	102
VASKULARNA FLORA U KRŠKIM RIJEKAMA TREBIŽATU I LIŠTICI (BOSNA I HERCEGOVINA)	108
UČINAK TEŠKIH METALA NA VRSTU <i>Polycelis felina</i> DALYELL, 1814	119
TULARI (INSECTA, TRICHOPTERA) KAO INDIKATORI KLIMATSKIH PROMJENA I EKOLOŠKOG STATUSA KRŠKIH VODENIH EKOSUSTAVA	129
PRIMJENA MULTIVARIJABILNIH LINEARNIH MODELA ZA RASPODJELU POKAZATELJA ONEČIŠĆENJA ZRAKA I OTPADNIH VODA GRADA SPLITA	141
MONITORING OTPADNIH VODA TVORNICE ALUMINIJA	150
REZULTATI ISTRAŽIVANJA IZVORIŠTA "BLACE" KOD NEUMA	163
ZAŠTITA PODZEMNIH VODA IZVORIŠTA VODOOPSKRBNOG SUSTAVA ŠIROKOG BRIJEGA	174
KONCEPTUALNI, MATEMATIČKI I MODEL SUSTAVSKE DINAMIKE SUSTAVA ZA PROCIŠĆAVANJE VODE	185
OCJENA SBR UREĐAJA KROZ KVALITATIVNO-ANALITIČKU METODU SWOT I METODU KOMPARACIJE	197
GOSPODARENJE VODAMA NA PODRUČJU PARKA PRIRODE „BLIDINJE “	207
UTJECAJ POZITIVNIH I NEGATIVNIH ČIMBENIKA NA KRAJOLIK PP HUTOVO BLATO S POSEBNIM OSVRTOM NA GORNJE HORIZONTE	219

POSEBNOSTI EKOLOŠKIH PROCESA I NAČINI UBLAŽAVANJA URBANIH PRITISAKA U KRŠKIM VODOTOCIMA

Marko Miliša

Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

SAŽETAK

Sukladno većini projekcija može se očekivati da uslijed antropogenih pritisaka voda postane najvažniji prirodnji resurs ovog stoljeća. Raznolikost staništa i biološka raznolikost već su prihvaćene kao važne odrednice opstojnosti ekosustava, ali i ekonomske održivosti. Krš je pak područje koje je oblikovala voda, koje na površini vodom uglavnom oskudijeva, ali je njome bogato u podzemlju. Također, krš predstavlja posebno važnu vruću točku raznolikosti kako staništa tako i vrsta. Stoga je glavna motivacija za ovaj rad bila pokazati posebnosti krške ekologije te mogućnosti primjene znanja iz ekologije u procesima održivog upravljanja krškim vodnim ekosustavima. Ekološki procesi u kršu posebni su upravo zbog osobitosti kemizma, hidrodinamike i geomorfologije. Možda je najbolji primjer proces obaranja kalcita iz vode u obliku sedrenih naslaga. Osedravanje, osim stvaranja izuzetnog krajolika, uvjetuje niz ekoloških posebnosti, uslijed međudjelovanja dinamike toka, kristalizacije kalcita i bioloških procesa. To se jasno očituje u specifičnoj dinamici procesuiranja organske tvari, ali i u prilagodbama organizama na stalno deponiranje novih slojeva sedre. Prema izgledu i sastavu slojeva u sedri moguće je dobiti uvid u ekološku prošlost područja. Navedene specifičnosti čine ekološke procese u krškim vodama kompleksnijima nego u drugim vodenim ekosustavima, no također često krhkijima. U području južne Europe krš je dominantan reljefni oblik, te su i ljudske intervencije u kršu česte. Ponajprije se radi o iskorištavanju vode za dobivanje električne energije čime se često uzrokuje vodni stres za nizvodne ekosustave. Utvrđeno je da mjere koje se trenutno implementiraju u svrhu ublažavanja vodnog stresa u umjerenom pojasu umjesto očuvanja autohtonog živog svijeta postižu suprotne učinke i značajno mijenjaju metabolizam rijeka. Moguće rješenje je pokušati oponašati prirodni režim toka koji je vladao na tom području prije ljudske eksploracije.

KLJUČNE RIJEČI: sedra; listinac; hidrološki režim; antropogeni stres; optimalni ekološki protok

UVOD

Krška područja su i na globalnoj razini prepoznata kao riznica bioraznolikosti s jedne strane, ali i kao jedno od najugroženijih područja na Zemlji (uz područje Alpa). Prijetnje kršu, a posebno vodenim staništima krša, su pojačana eksploracija resursa, prvenstveno stijena i voda, te globalne klimatske promjene koje se očituju smanjenjem količine padalina u Sredozemnom bazenu. Stoga je, u cilju zaštite krških voda, važno ulagati u njihovo istraživanje.

Krška geomorfologija je u spremi s klimatskim promjenama u geološkoj prošlosti Zemlje odigrala značajnu ulogu u evoluciji i rasprostiranju mnogih organizama, te je zato krško područje bogato reliktim i endemima.

Žarište interesa ovog članka će biti na akvatičkim staništima, posebnostima ekoloških procesa u kršu te urbanim pritiscima na njih.

POSEBNOST EKOLOGIJE KRŠKIH VODA: OSEDRAVANJE, PROCESI RAZGRADNJE I TRANSPORT ENERGIJE

Voda je u kršu temeljni činitelj stvaranja reljefnih oblika jer sudjeluje u otapanju stijena. Na našem području prvenstveno kalcijeva karbonata u obliku vapnenca tj. kalcita. Upravo zbog topivosti u vodi krško je tlo izuzetno porozno te se većina vode u kršu nalazi u podzemlju. Prolaskom kroz pore u tlu, u vodi se otapa ugljikov dioksid čime se stvara slaba i nestabilna ugljična kiselina. Suvišak protona (kiselost) uvjetuje topivost kalcita odnosno odvajanje iona kalcija od karbonatnih iona na koje se vežu protoni tvoreći bikarbonatni ion. Tada se u vodi u dinamičkoj ravnoteži nalaze karbonatni i bikarbonatni ioni te ugljikov dioksid i ugljična kiselina. Kad voda ipak izade na površinu, može biti prezasićena karbonatima. Izbijanjem na površinu voda mijenja svoje okružje odnosno čimbenike okoliša. Na prijelazu iz podzemlja na površinu mijenjaju se parcijalni tlakovi plinova, te se zbog nižeg parcijalnog tlaka i kretanja vode, sukladno Bernoulijevom principu i Henryjevom zakonu iz vode isplinjava ugljikov dioksid, pomicajući ravnotežu reakcije u smjeru stvaranja kristala kalcijeva karbonata. Važan čimbenik u ovom procesu je i temperatura, budući da se njenim povišenjem dodatno smanjuje topivost plinova, ali i topivost kalcijeva karbonata. Uvjetovano ovim promjenama, pod određenim okolnostima niskog sadržaja otopljenih organskih tvari, blago lužnatog pH te prezasićenosti vode karbonatima, kalcijev karbonat, u vidu kalcita, se na sve površine uronjene u vodu, uključujući i na organizme (Srdoč i sur. 1985, Riding 1991). Taj se proces naziva osedravanje.

Osedravanje može biti na barem dva načina potpomognuto živim organizmima: 1) djelovanjem fotoautotrofnih organizama na ravnotežu plinova u vodi evakuacijom ugljikova dioksida tijekom fotosinteze te 2) stvaranjem mesta pogodnih za nukleaciju kristala. Poznato je da je proces nukleacije energetski najzahtjevniji dio kristalizacije i rijetko se u prirodi događa tzv. homogena nukleacija u kojoj se kristali sami stvaraju jer su energetski uvjeti za to zadovoljeni. Mnogo je češće početak nukleacije uvjetovan heterogeno odnosno već postojećom faznom granicom s tekućom vodom.

U Dinaridskom kršu, zbog brzog taloženja sedre, oblikuju se vrlo dinamična staništa u kojima se očituje uzbudljivo međudjelovanje strujanja vode, kemizma kalcita, razgradnje detritusa i aktivnosti organizama. Budući da je osedravanje katkad vrlo brzo (više od 1 cm godišnje) organizmi koji žive ovdje moraju biti iznimno dobro prilagođeni za svladavanje procesa zakopavanja. Ličinke tulara (Trichoptera) primjerice lome sedru čeljustima, na taj način oslobadajući svoje mreže i kućice (Drysdale 1998).

Neki od organizama pak igraju važnu ulogu u pospješivanju osedravanja. Upravo je to slučaj sasvihom koju proizvode ličinke muha svrbljivica (Simuliidae). Budući da se hrane procjedivanjem čestica iz struje vode, muhe svrbljivice su sklone životu u staništima s brzom strujom vode (reofilne). Da bi spriječile otpavljanje, ispuštaju svilene niti kojima se priručuju odnosno lijepe za podlogu. O važnosti fazne granice u kristalizaciji govori činjenica da svilene niti pokrivaju manje od 1 % površine podloge naseljene ovim ličinkama, a

na njima se istaloži 56 % kristala kalcita. Osim toga predstavljaju i povoljno mjesto za stvaranje biofilma jer se 17% algi kremenjašica zadržava na nitima svile (MatoničkinKepčija i sur. 2006). Sličnim principom utvrđeni su pozitivni utjecaji na osedravanje i svilemreža tulara te ljuštura alga kremenjašica (diatomeae), na mikroskali, a ljuštura mekušaca, kućicatulara i stabalaca mahovina na makroskali (Drysdale 1999).

Upravo alge kremenjašice koje se nasele na niti svile izlučujući sluz odnosno izvanstanične polimere daju dodatno mjesto za kristalizaciju kalcita te vjerojatno pospješuju osedravanjei utjecajem na kemijsku ravnotežu - uzimanjem ugljikova dioksida tijekom fotosinteze (Pedley 2000). Ovi procesi su posebno važni zimi kad niska temperatura djeluje nepovoljno na kristalizaciju pospješujući topivost kristala kalcita (MatoničkinKepčija i sur. 2006).

Ipak ključni čimbenici koji uvjetuju brzinu osedravanja u Dinaridskom kršu su fizikalni: brzina strujanja vode i temperatura (Miliša i sur. 2006a). Oba čimbenika se mijenjaju sezonski. Zbog sezonske izmjene ovih dvaju parametara mijenja se i stopa osedravanja pa čak i tip kristala, Ljeti se stvara rahliji tzv. *spar* kalcit dok zimi prevladavatzv. *micrite* kalcit. Stoga se u okomitom profilu i makroskopski vidi jasna uslojenost koja bi mogla biti vodič za rekonstruiranje recentne ekološke i klimatske prošlosti ovih sustava (Andrews i Brasier 2005).

I dok se temperaturne promjene na globalnoj razini mijenjaju u korist procesa osedravanja, hidrološki procesi mijenjaju se na njegovu štetu. Eventualne antropogene manipulacije hidrološkim režimom mogu dodatno narušiti procesa osedravanja, ali i mnoge druge ekološke procese u kršu. Brzina strujanja vode je ključan čimbenik i u strukturiranju faune krških tekućica (Habdić i sur. 2006). Smanjenjem brzine strujanja vode mijenja se sastav faune, pareofilne vrste čiji je pozitivan utjecaj na osedravanje opisan postaju rijed ili potpuno nestaju.

I procesi respiracije mogu negativno utjecati na kemizam obaranja kristala snižavanjem pH i dodavanjem ugljikova dioksida u vodu (Golubic i Schneider 1979).

Procesi respiracije dominantni su tijekom razgradnje organske tvari. Kao i u sličnim tekućicama drugdje, energetska osnova za bentoske (pridnene) zajednice je alohtonitetritus odnosno listinac. Već u prvom koraku razgradnje – ispiranju (*leaching*) u vodu se oslobođaju znatne količinenuutrijenata od kojih primjerice fosfati mogu stupati u kemijske reakcije s ionima kalcija i tako, narušavanjem kristalne rešetke usporavati kristalizaciju kalcita (Plant i House 2002).

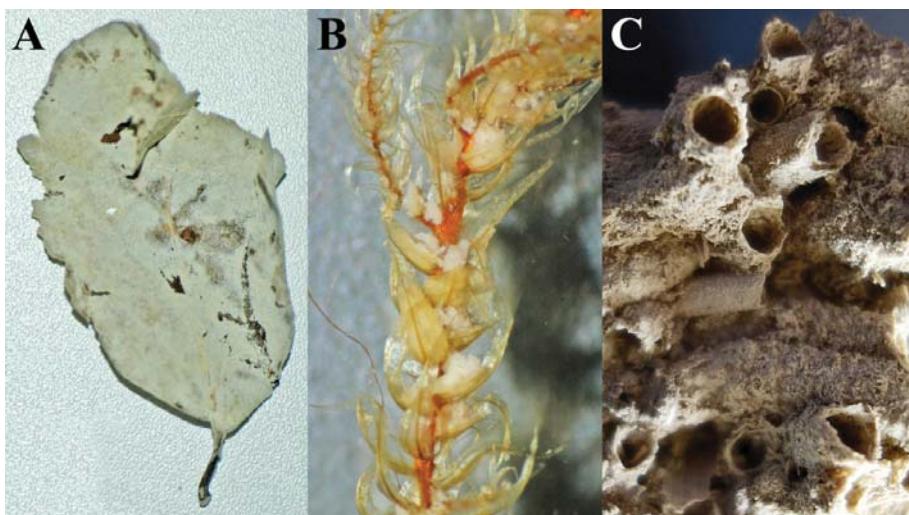
Ali i ovi procesi su posebni u krškim sedrotvornim područjima. U iberijskom kršu utvrđeno je da razgradnju listinac može narušiti stvaranje sedrene kore (Casas i Gessner 1999), a također i obratno, spomenuti respiracijski procesi razgradnje biljne tvari mogu usporiti kristalizaciju ili čak uzrokovati otapanje kristala. Ipak u Dinaridskim, vodom bogatim sedrotvornim sustavimačini se da osedravanje potiče razgradnju i obratno (Miliša i sur. 2010).

Mikroorganizmi koji naseljavaju listinac mogu stvoriti povoljne uvjete za obaranje sedre. Gljivice koje razgrađuju listinac, svojim eksudatima, ali i samim habitusima mogu stvoriti nuklearcijska mjesta, te, slično kao i alge, mogu upijati nutrijente koji inhibiraju kristalizaciju (Freytet i Verrecchia 1998). Pretpostavka je da sprega između mikrobne zajednice i poroznosti sedre (vjerojatno uslijed većeg udjela rahlog kalcita – *spar*) u našim krškim sustavima, primjerice u sustavu Plitvičkih jezera, omogućuje mikrobiološku razgradnju čak ispod rahlog sedrenog pokrova (Miliša i sur. 2010). Jedino u staništima sa sporom strujom vode stvara se kompaktnija sedrena naslaga koja usporava daljnju razgradnju. Ipak stvaranje ove sedre je i dugotrajnije tako da se ovaj negativan utjecaj na razgradnju lišća može uočiti samo za vrlo čvrsto i otporno lišće čija je razgradnja dovoljno dugotrajna – primjerice lišće bukve. No i tada se nastavlja mehanička razgradnja listinac.

Usljed različitih brzina strujanja vode, koje uvjetuju i vrstu i svojstva sedre raspon trajanja lišća bukve u sustavu je izuzetno velik – od šezdesetak do preko tisuću dana(Miliša i sur. 2010). Razgradnja listinca zeljastih biljaka koje je i inače mnogostruku brže također nije usporeno osedravanjem.

Osedravanje pak ima linearnu dinamiku tijekom razgradnjedetritura, dakle stopa osedravanja se ne mijenja – što indicira da procesi razgradnje ne smetaju osedravanju. Dapaće, osedravanje je intenzivnije na listincu koji se intenzivnije razgrađuje što sugerira da mikrobna aktivnost potpomaže proces osedravanja(Miliša i sur. 2010). Dokaz tome je i intenzivno osedravanje na donjim stranama lišća gdje se nalaze pući odnosno gdje proces mikrobnog naseljavanja

započinje. Vjerojatno prezasićenost karbonatima uz opisane pozitivne učinke mikroorganizama u sprezi s relativno pouzdanim i izdašnim protocima uvjetuju stabilnost osedravanja.



Slika 1. Primjeri osedravanja potpomognutog biološkim djelovanjem: a) listinac bukve, b) mahovina, c) kućice kukaca.

Nakon mikrobnog kondicioniranja lišće je u neosedravajućim sustavima pogodno za prehranu makrozoobentoskih vrsta koje mogu biti odgovorne i za više od 50 % razgradnje (Herbst 1982). U osedravajućim sustavima, s druge strane, zbog sedrenih naslaga makrozoobentosne može iskoristiti ovaj resurs, a posljedično niti značajnije utjecati na brzinu razgradnje. To je vjerojatan razlog zašto je makrozoobentoska funkcionalna skupina - usitnjivači uglavnom vrlo slabo zastupljena u osedravajućim ekosustavima (Miliša i sur. 2010).

Usitnjeni listinac zajedno s drugim česticama organske tvari predstavlja značajan energetski resurs kojise transportira kroz ekosustav ovisno o hidrološkim prilikama i raspoloživosti mehanizama retencije. Mahovine imaju značajnu ulogu u retenciji čestica osobito u staništima s brzim strujama vode. Osim te površinske uloge zadržavanja čestica, mahovina je važna kao izvor energije u hiporeiku, jerobrastanjem sedre tkivo mahovine dolazi u hiporeičko područje predstavljajući takо stalан izvor energije (Miliša i sur. 2006b).

Na površini, u mahovinskim sastojinama staništa s brzom strujom vode dominiraju krupne organske čestice (CPOM) koje zaustavljaju i hvataju isprepletena stabalca i listići mahovina. Ove su čestice i energetska najizdašnije s prosječnom energetskim sadržajem suhe tvari od oko 16.5 kJ g^{-1} . Za usporedbu, listinac prije usitnjavanja sadrži oko 18 kJ g^{-1} . Međutim daljnjim procesiranjem odnosno iskorištavanjem ovih čestica stvaraju se sitne i vrlo sitne organske čestice (FPOM i UPOM). Budući da u detritusnom putu energije ove čestice prolaze više ciklusa asimilacije tako im i energetska svojstva degradiraju pa sitne organske čestice sadrže tek oko 7 kJ g^{-1} .

Finije čestice dominiraju u staništima sporih struja i lakše se transportiraju u intersticij. Organske čestice prodiru u intersticij s jedne strane prerastanjem i ukopavanjem silom vode kroz pore intersticijate transportom tzv. fekalnimeleptima(Smock 1990, Wotton i Warren 2007). Dimenzije intersticijiskih prostora onemogućuju značajniji prodor krupnih čestica u podzemlje te se taj veličinski razred detritusauglavnom sastoji od odumrlih stabljika mahovine. Premda u hiporeiku krupne čestice masom predstavljaju manji dio detritisai dalje su energetska najznačajnije(Miliša i sur. 2010).

Hidrološke prilike dakle uvjetuju sve procese u krškim tekućicama od specifičnih krški procesa poput osedravanja do općih poput strukturiranja bentoske zajednice, razgradnje alohtone organske tvari i transporta tvari i energije kroz sustav.

MANIPULACIJA VODNIM REŽIMOM I POVEZANI URBANI PRITISCI

Uslijed općeg nastojanja da se vodna bogatstva iskoriste za ekonomsku korist, mnogi riječni ekosustavi su postali preeksplotirani i zagađeni, a posljedično su degradirana i okolna staništa. Trenutno je više od pola kopnenih voda na svijetu pod ljudskom intervencijom, uz jasan trend daljnog porasta eksplotacije (Tharme 2003). Primat u eksplotaciji voda imaju elektroenergetski objekti i po brojnosti i po razini utjecaja na okoliš.

Taj je utjecaj višestruk. Najmanje proučavan je utjecaj na živi svijet elektromagnetskih polja koja stvaraju prateći elektroenergetski i prijenosni objekti. Premda se radi o neionizirajućem zračenju, jakosti električnih i magnetskih polja u blizini dalekovoda usporediva su s vrijednostima koje su dozvoljene međunarodnim normama. Na ovom području saznanja su relativno recentna, a uvjetovana su znatnim širenjem elektroenergetskih mreža u urbanim područjima. U Europi postoji oko 300000 km dalekovoda uz plan povećanje mreže od 20 % u sljedećih 5 godina. Iako su u biosferi prisutna prirodna elektromagnetska polja kako od same Zemljetako i od izvanzemaljskih izvora, antropogena elektromagnetska polja su novost u razvoju života. Stoga, unatoč dobroj prilagođenosti organizama na spomenute prirodne izvore elektromagnetskih polja, utjecaj antropogenih elektromagnetskih polja može biti štetan za pojedine organizme (IARC 2002). O utjecaju električnih polja na organizme u vodenom okružju relativno je malo istraživanja. Ipak utvrđeno je slabljenje razvoja embrija rakova kao i neke promjene u morfologiji i aktivnosti te razmnožavanju nižih organizama (Krylov 2010, Ahmed i sur. 2013, Amaroli i sur. 2013). U nas su ova istraživanja na modelnom organizmu – zelenom bičašu (*Euglenaviridis*) tek započela, a preliminarni podaci ukazuju na postojanje negativnog utjecaja električnih polja na procese dijeljenja i metaboličku aktivnost tzv. stres-enzima. Učinci na aktivnost superoksid dismutaze koja eliminira superoksidne ione stvorene uslijed stresa su utvrđeni već pri kratkotrajnom izlaganju zelenih bičaša električnom polju. Ipak, trenutne zakonske odredbe za zaštitu od elektromagnetskog zračenja u Hrvatskoj su zadovoljavajuće jer dozvoljavaju jakosti polja koja su višestruko slabija od onih pri kojima bi se mogli osjetiti negativni učinci. Stoga se uz uvjet poštivanja zakonskih odredbi, u Hrvatskoj ne bi trebao očekivati značajan utjecaj električnih polja na život u vodenim ekosustavima.

Mnogo jasniji utjecaj je onaj same izgradnje elektroenergetskih objekata, ipak on je točkast i stoga ga je relativno lako ublažiti. Dugo se smatralo da je to i glavni aspekt utjecaja na okoliš, a onda je uočeno da se važne promjene događaju nizvodno od ovih objekata ili u podzemlju u njihovoј blizini (Bonacchi sur. 2009). Naime u početku iskoriščavanja elektroenergetski objekti zahvaćali su katkad cijeli vodni kapacitet toka te bi korito nizvodno presušilo. Vrlo brzo uvedena je mjera obaveze elektroenergetskih objekata da u korito propuštaju određeni dio vode s ciljem osiguravanja životnih uvjeta za vodene organizme. Ova mjera naziva se biološki minimum i na snazi je i danas.

Ipak, radi sve izraženijih učinaka koji danas postaju vidljivi, a uzrokovani su i po nekoliko desetljeća ranijim ljudskim djelovanjem, znanstvenici su počeli istraživati mogućnosti ublažavanja ljudskog utjecaja na vode (Poff i sur. 1997, Bunn i Arthington 2002). Većina istraživanja manipulacije vodnim režimom izvedena je u nekrškim područjima, ali budući da se radi o principijeljnim saznanjima vrijedilo bi ta iskustva primijeniti i u kršim eksplotiranim vodotocima na Balkanu. Pogotovo jer je su krška staništa i životne zajednice, kao što je prethodno opisano, vrlo tijesno vezane za vodnu dinamiku.

Biološki minimum često se proizvoljno određuje, a u svakom slučaju pogoduje samo nekim vrstama. Budući da se u korito ispušta manje vode, postiže se i sporiji tok, a brzina strujanja vode u krškim ekosustavima je najvažniji okolišni čimbenik strukturiranja biocenoza (Miliša i sur. 2006a). Poznati su učinci gubitka pojedinih riječnih mikrostaništa čime se ugrožava fauna riba i makrozoobentosa, ali uniformiranje toka ugrožava i okolna koprena staništa npr. hidrofilne šume i ornitofaunu koja je svojim načinom života vezana uz vode. Također, uniformirani tok može nepovoljno utjecati i na procese razgradnje biljnog detritusa transporta i organske i anorganske tvari čime koja se ona može nakupljati u koritu u većim količinama stvarajući daljnje opstrukcije toka i zapunjavajući korito (Parkhill i Guliver 2002, Miliša i sur. 2010).

Samo povećanje biološkog minimuma utjecalo bi na oporavak nekih reofilnih vrsta (Travnichek i sur. 1995). Ipak, ovo nije praktično rješenje, a osim toga glavni nedostatak – uniformiranje toka, samim povećanjem biološkog minimuma ne bi bio riješen. Izostanak kolebanja toka glavni je uzrok promjene u životnim zajednicama jer mijenja metabolizam tekućice. Neke od posljedica susmanjenje količine otopljenog kisika, povišenje temperature vode, pojačan rast alga i biljaka u koritu te posljedično daljnje usporavanje i povećana sedimentaciju mulja i pijeska sa stvaranjem izoliranih stajačih područja te smanjena ili potpuno onemogućena migracija organizama i uzduž toka ali i okomito u intersticij (Parkhill i Guliver 2002, Dole-Olivier 2011). Potonje su vrlo važne u fenologiji mnogih vrsta makrozoobentosa jermlađe jedinice koriste hiporeik kako bi izbjegle nepovoljne uvjete na površini (Šemnički i sur. 2012). Neravnoteža u ekosustavu ima kaskadni učinak. Poremećajem na jednoj trofičkoj razini mijenjaju se životne zajednice i iznad i ispod njih. Nestankom ovih akvatičkih populacija i priobalne zajednice također gube svoj ekološki oslonac te se izmještaju.

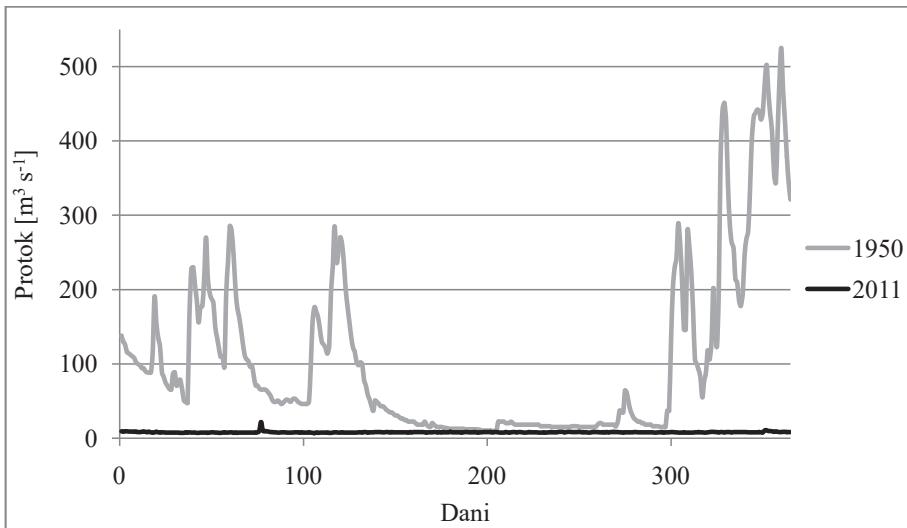
Već krajem prošlog stoljeća, učestala su razmatranja unaprjeđenja vodnog menadžmenta kako bi se pogodovalo autohtonim vrstama i zajednicama (Poff i sur. 1997, Bunn i Arthington 2002). U tom smislu analize su pokazale da su uvođenjem oscilacija toka pozitivni učinci značajni (Robinson 2012). Nekoliko je naziva za novu mjeru upravljanja vodenim tokom, primjerice ekološki prihvativljiv protok (*environmentalflow*) ili optimalni ekološki protok (*optimalecologicaldischarge*). Ovaj se pristup zasniva na pokušaju prilagodbe ispusta s ciljem oponašanja prirodnih kolebanja toka tijekom godine koji su prethodili elektroenergetskom zahvatu. Ova mjeru opisuje obrasce ispusta hidroelektrana koji zadovoljavaju minimalne zahtjeve baznih (temeljnih) protoka odnosno biološki minimum, ali i vremena/trenutak, trajanje, razmjer/opseg i učestalost visokih vodostaja i poplavnih voda s ciljem ostvarivanja najpogodnijih održivilih stanišnih uvjeta za autohtoni živi svijet. To znači ispuštanje većih količina vode nekoliko puta godišnje i to onda kada to nivalno-pluvijalni režim umjerenog pojasa zahtjeva (Bunn i Arthington 2002). U našim krajevima, to odgovara proljetnim i jesensko zimskim vodnim maksimumima.

Do sad postoje mnoga pozitivna iskustva implementacije ovakvog vodnog režima u svijetu. U Južnoj Africi ova mjeru se provodi još od 1997. godine.. Vodeći računa da razlika u temperaturi već od 3 °C izaziva povlačenje riba nizvodno i napuštanje lokacije mrijesti, u toplijim dijelovima godine iz elektrane ispušta površinska – toplija voda, a u ostatku godine pridnena hladnija voda te je tako pospješen mrijest riba i uspješnost preživljavanja ličinaka do odraslih stadija (King i sur. 1998).

Dugoročni pozitivni učinci uočeni su u Sjedinjenim Američkim Državama. Zabilježen je povratak endemske akvatičke faune, ali je i pospješeno kljanje priobalne vegetacije rodova *Populus* i *Salix*. U sljedećem razdoblju od 3 godine na obnovljena šumska staništa vratilo se više od polovice nestalih vrsta ptica (Rood i sur. 2003).

U Švicarskoj je početkom stoljeća pokušno uveden sličan režim kojim je u 12 godina revitaliziran dio rijeke Spöl smanjenjem biološkog minimuma čime se uštedila voda koja je ispušтana dva puta godišnje u prosječnim dnevnim protocima od preko $30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Zabilježen je oporavak populacije pstrve te je smanjena brojnost oportunističkih vrsta koje su se pretjerano namnožile. Neke invazivne vrste su potpuno nestale, a vratile su se neke autohtone vrste kukaca (Robinson 2012).

Ovakvi rezultati sugeriraju da ispravnom manipulacijom protoka možemo promicati obnovu ekosustava prebranjenih rijeka diljem svijeta.



Slika 1. Usporedba protoka na rijeci Cetini (Čikotina lađa) prije izgradnje brana i tijekom sušne godine nakon izgradnje brana.

Krški reljef, oblikovan djelovanjem vode obiluje naoko pogodnim mjestima za akumulacije i eksploataciju vode. No upravo zbog topivosti, krška je podloga porozna te voda iz krških akumulacija neprestano otječe (Bonacci 1987, Bonacci i Rubinić 2009). Ipak i u takvom području izgrađeno je diljem krša u svijetu mnoštvo brana.

Na našim prostorima do sada nije bilo posebnih poteškoća s količinama vode u koritima nizvodno od elektroenergetskih zahvata uslijed povoljnih povijesnih hidroloških prilika, ali i to se uslijed opće promjene klime mijenja te su suše učestale posebno u sredozemnom bazenu (Döll i sur. 2012, Hoerling i sur. 2012). Klimatske promjene su u posljednjih nekoliko godina ipak znatno utjecale na hidrološki režim krških rijeka i to posebno onih eksploriranih (Slika 1). Trajinjom uspostavom ovakvog hidrološkog režima u kojem dominira niski vodostaj (biološki minimum) ekološki integritet krških vodotoka bit će doveden u pitanje. Kako je već opisano niz ekoloških procesa u krškim staništima iznimno su specifični, te potencijalno vrlo osjetljivi. Za održavanje ekološkog integriteta, stoga je nužno djelovati na promjeni vodnog režima eksploriranih krških vodotoka s ciljem oponašanja prirodnih kolebanja toka.

LITERATURA

- Amaroli, A., Chessa, M.G., Bavestrello, G. and Bianco, B. (2013), "Effectsofanextremelylow-frequencyelectromagneticfield on stressfactors: a studyinDictyosteliumdiscoideumcells", Eur. J. Protistol. 49, 400-405.
- Andrews, J. E. and Brasier, A. T. (2005), Seasonal records of climatic change in annually laminated tufas: short review and future prospects. J. Quaternary Sci., 20, 411–421.
- Bonacci O. (1987), Karst Hydrology with Special References to DinaricKarst. SpringerVerlag, Heidelberg.
- Bonacci, O. and Rubiníć, J. (2009), Water losses from a reservoir built in karst: the example of the Boljunčica reservoir (Istria, Croatia). Environ. Geol. 58, 339-345.
- Bonacci, O., Gottstein, S. and Roje-Bonacci, T. (2009), Negative impactsofgrouting on the underground inkarstenvironment. Ecohydrology. 2, 492-502.
- Bunn, S.E. and Arthington, A.H. (2002), Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. Environ. Manage. 30, 492–507.
- Casas, J.J. and Gessner, M.O. (1999), Leaf litter breakdown in a Mediterranean stream characterised by travertine precipitation. Freshwat.Biol,41, 781-793.
- Dole-Olivier, M-J. (2011), Thehyporheicrefugehypothesisreconsidered: a reviewofhydrologicalaspects, Mar. FreshwaterRes. 62, 1281-1302.
- Döll, P. and Schmied, H.M. (2012), How is the impact of climate change on river flow regimes related to the impact on mean annual runoff? A global-scale analysis. Environ. Res. Lett. 7, 14-37.
- Drysdale, R.N. (1998), Aquatic insect larvae as geomorphic agents in travertine-building: a case study from the Barkly karst, Australia. Suppl., Geogr.Fis. Din. Quat. 3, 53-59.
- Drysdale, R.N.(1999), Thesedimentological significance of hydropsychid caddis-fly larvae (Order: Trichoptera) in a travertine-depositing stream: Louie Creek, northwest Queensland, Australia. J Sediment. Res. 69, 145-150.
- Freytet, P.andVerrecchia, E.P. (1998), Freshwaterorganismsthatbuildstromatolites: a synopsis ofbiocrystallizationbyprokaryoticandukaryoticalgae. Sedimentology, 45, 535–563.
- Golubic, S. and Schneider, J. (1979), Carbonate dissolution. In: Trudinger P.A. and SwaineD.J. (eds.), Biogeochemical cycling of mineral-forming elements, Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam.
- Habdija, I., Primo-Habdija, B., Matonićkin, R., Kučinić, M., Radanović, I., Miliša, M. and Mihaljević, Z. (2004), Current velocity and food supply as factors affecting the composition of macroinvertebrates in bryophyte habitats in karst running water. Biologia. 59, 577-593.
- Herbst, G. N. (1982), Effects of leaf typeon the consumption rates of aquatic detritivores. Hydrobiologia. 89, 77-87.
- Hoerling, M., Eischeid, J., Perlwitz, J., Quan, X., Zhang, T. and Pegion, P. (2012): On the Increased Frequency of Mediterranean Drought. J. Climate. 25, 2146–2161.
- Ahmed, I., Istivan, T., Cosic, I. and Pirogova, E. (2013), Evaluation of the effects of Extremely Low Frequency (ELF) Pulsed Electromagnetic Fields (PEMF) on survival of the bacterium *Staphylococcus aureus*, EPJ Nonlinear Biomed. Phys. 1:5,
- IARC International Agency for Research on Cancer (2002),Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. IARC Monographs on the Evaluation of carcinogenic Risks to Humans: Volume 80, IARC Press, Lyon.

- King, J., Cambray, J.A. and Impson, N.D. (1998), Linked effects of dam-released floods and water temperature on spawning of the Clanwilliam yellowfish *Barbus capensis*, *Hydrobiologia*. 384, 245–265,
- Krylov, V.V. (2010), Effects of electromagnetic fields on parthenogenetic eggs of *Daphnia magna* Straus Ecotox. Environ. Safe. 73, 62–66.
- Lenting, N., Williams, D.D. and Fraser, B.G. (1997), Qualitative differences in interstitial organic matter and their effect on hyporheic colonization. *Hydrobiologia* 344, 19–26.
- Matoničkin Kepčija, R., Habdija, I., Primc-Habdija, B. and Miliša M. (2006), Simuliid silk pads enhance tufa deposition. *Arch. Hydrobiol.* 166, 387–409.
- Matoničkin Kepčija, R., Miliša, M., Sertić Perić, M., Matijić Cvjetović, M. and Primc-Habdija, B. (2011), Response of periphyton to nutrient addition in tufa-depositing environment. *Aquat. Microb. Ecol.* 65, 183–195.
- Miliša, M., Belančić, A., Matoničkin Kepčija, R., Sertić Perić, M., Ostojić, A. and Habdija, I. (2010), Calcite deposition in karst waters is promoted by leaf litter breakdown and vice versa. *Ann. Limnol.-Int. J. Lim.* 46, 225–232.
- Miliša, M., Habdija, I., Primc-Habdija, B., Radanović, I. and Matoničkin Kepčija, R. (2006b), The role of flow velocity in the vertical distribution of particulate organic matter on moss-covered travertine barriers of the Plitvice Lakes (Croatia). *Hydrobiologia*. 553; 231–243.
- Miliša, M., Ivković, M., Matoničkin Kepčija, R. (2014), Energy resources and feeding guild structure of macroinvertebrate assemblages in the hyporheic zone of calcite depositing lake outlets. *Limnologica*. 44, 66–71.
- Miliša, M., Matoničkin Kepčija, R., Radanović, I., Ostojić, A. and Habdija, I. (2006a), The impact of aquatic macrophyte (*Salix* sp. and *Cladium mariscus* (L.) Pohl.) removal on habitat conditions and macroinvertebrates of tufa barriers (Plitvice Lakes, Croatia). *Hydrobiologia*. 573, 183–197.
- Parkhill K.L. and Gulliver J.S. (2002), Effect of inorganic sediment on whole-stream productivity. *Hydrobiologia*. 472, 5–17.
- Pedley, M. (2000), Ambient temperature freshwater microbial tufas. In: Riding, R. E. & S. M. Awramik (eds), *Microbial Sediments*. Springer-Verlag, Berlin.
- Plant, L.J. and House, W.A. (2002), Precipitation of calcite in the presence of inorganic phosphate. *Colloids Surf. A*. 203, 143–153.
- Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegaard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R. E. and Stromberg, J. C. (1997), The natural flow regime. *BioScience* 47, 769–784.
- Riding, R. (1991), Classification of microbial carbonates. In: Riding R. (ed.), *Calcareous algae and stromatolites*, Springer-Verlag, Berlin.
- Robinson, C.T. (2012): Long-term changes in community assembly, resistance and resilience following experimental floods. *Ecol. Appl.* 22, 1949–1961.
- Rood, S.B., Gourley, C., Ammon, E.M., Heki, L.G., Klotz, J.R., Morrison, M.L., Mosley, D., Scoppettone, G.G., Swanson, S. and Wagner, P.L. (2003), Flows for floodplain forests: A successful riparian restoration, *BioScience*. 53, 647–656,
- Smock, L. A. (1990), Spatial and temporal variation in organic matter storage in low-gradient, headwater streams. *Arch. Hydrobiol.* 118, 169–184.
- Srdoč, D., Horvatinčić, N., Obelić, B., Krajcar, I. and Sliepčević, A. (1985), Procesi taloženja kalcita u krškim vodama s posebnim osvrtom na Plitvička Jezera. *Carsus Iugoslaviae*. 11, 101–204.

- Šemnički, P., Previšić, A., Ivković, M., Čmrlc, K. and Mihaljević, Z. (2012), Tufabarriers from a caddisfly's pointofview, streams or lake outlets? *Int. Rev. Hydrobiol.* 97, 465-484.
- Tharme, R. (2003), A global perspective on environmentalflowassessment: emergingtrendsinthedevelopmentandapplicationofenvironmentalflowmethodologies for rivers. *RiverRes. Appl.* 19, 397-441.
- Travnichek V.H., Bain, M.V. and Maceina, M.J. (1995), Recovery of a warmwater fish assemblage after initiation of a minimum-flow release downstream of a hydroelectric dam, *T. Am. Fish. Soc.* 124, 836–844.
- Wotton, R.S. and Warren, L.L. (2007), Impactsofsuspensionfeeders on themodificationand transport ofstreamseston. *Fund. Appl. Limnol.* 169, 231–236.

SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT PLANNING IN VIPAVA RIVER BASIN (SLOVENIA) BASED ON DIALOGUE AND COLLABORATION BETWEEN SCIENCE AND SOCIETY

A.Krivograd Klemenčič ^{1,2}, M. Magjar ¹, N. Smolar-Žvanut ¹, P.J. Verkerk ³

¹Institute for Water of the Republic of Slovenia, Hajdrihova 28c, SI-1000 Ljubljana, Slovenia

²Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Hajdrihova 28, SI-1000 Ljubljana, Slovenia

³European Forest Institute, Mediterranean Regional Office, St. Antoni M. Claret 167, 08025 Barcelona, Spain

ABSTRACT

BeWater project (FP7 Science in Society) is based on a strong connection between science and society with a multidisciplinary approach, which balances environmental, political and socio-economic priorities to guide the development of relevant water management formulation options. BeWater aims to launch an innovative process of societal transition towards a more sustainable, resilient and adaptive river basin management. In the project context, transition means to foster mutual learning processes in order to change the way river basins are managed, focusing on Mediterranean region. Indeed, adapting to more adverse environmental conditions which may result from climate change requires dynamic practices allowing citizens to actively play a role in the decision making processes. This approach emphasizes the need to change with the environment and ‘learning by doing’.

BeWater focuses on four Case Studies RBs spread across the Mediterranean region: Vipava River Basin (RB) in Slovenia, Tordera RB in Spain, Pedieos RB in Cyprus and Rmel RB in Tunisia. The selection of small RBs provides a simplified complexity and facilitates understanding of the basic processes which underpin RB dynamics. Results of the BeWater project are expected to be of relevance at the local, national and Mediterranean scale. In each Case Study RB, a set of realistic, sustainable and adaptive water management options (WMOs) will be developed and later included into adaptation plans, which will lead to effective adaptation policies, whilst raising awareness about the challenges of water management and water use under climate change among local society.

The aim of this paper is to present the participatory approach that is being developed in the BeWater project, using the Vipava RB in Slovenia as an example. Participatory processes already carried out in the Vipava RB in the form of two professionally facilitated workshops, interviews, group session and events, helped BeWater project team to develop a written and graphical representation of the Vipava RB in the form of a Fuzzy Cognitive Map and identify, formulate and evaluate WMOs relevant for the Vipava RB. Showing a high level of interest for BeWater project and future involvement in designing adaptation plan, stakeholders of the Vipava RB stressed out that dialogue and collaboration between the inhabitants of the RB and local, regional and national policy-makers is crucial for successfully solving problems in water management.

Keywords: Adaptation plan; Climate change; Mediterranean; Vipava River Basin; Water Management

INTRODUCTION

Challenges posed by global changes are usually being addressed at scientific and political levels, lacking efficient tools to involve society in the adaptation processes. In this context, sustainable water management strategies, leading to increased resilience of the social-ecological system of a river basin (RB), are needed urgently. In order to maximise their effectiveness, local communities must engage with such strategies and play an active role in their development. The combination of good governance and improved awareness and shared responsibility of the civil society and stakeholders in the water sector are key to ensuring successful adaptation strategies, plans and their implementation.

To ensure sustainable water management and adaptation to the impacts of global change in the Mediterranean, the BeWater project promotes dialogue and collaboration between science and society. The BeWater project, launched in October 2013, is a 3.5-year project financed through the 7th Framework Programme of the European Commission, under the Science in Society initiative (project no. 612385 - SIS.2013.1.2-1European Commission). The BeWater project promotes an iterative dialogue and mutual learning collaboration processes between science and society to establish, using a multidisciplinary, bottom-up and participatory approach, plans for sustainable water management and global change adaptation in four Mediterranean case study RBs. The specific aim is to contribute to increasing the resilience of social and ecological systems linked to each RB and to allow a proactive response to emerging global changes and related challenges. Seven specific objectives were set to help achieve the overall aim:

1. To launch an innovative process of societal transition towards a more sustainable, resilient and adaptive river basin management.
2. To develop an innovative, stakeholder-driven method.
3. To promote the transfer of BeWater results into policy.
4. To promote mutual and multi-directional learning among the project partners, entities and actors within and between the river basins and with the broader society.
5. To raise awareness and promote a bottom-up approach within the scientific community for planning and implementation processes.
6. To enhance social participation and build societal resilience.
7. To explore and assess opportunities for Research & Innovation (R&I) collaboration between organizations, universities, SMEs and civil society actors to boost innovation in the water sector.

The BeWater case study RBs (Vipava RB in Slovenia, Tordera RB in Spain, Pedieos RB in Cyprus and Rmel RB in Tunisia) are representative of various Mediterranean conditions with regard to climate, topography, environment, socio-economic and political conditions, land use and water demands. The selection of small RBs as case studies is essential for the BeWater approach. The choice of small areas provides a simplified complexity and facilitates understanding of the basic processes, which underpin RB dynamics. Small areas, highly monitored and scientifically assessed, facilitate the identification, establishment and control of cause-and-effect relationships among processes involved, enabling the design of a methodology, which can later be out-scaled and extrapolated to systems that are more complex. Additionally, essential links between society and territory are much stronger at this spatial scale. In BeWater each case study RB will generate a specific adaptive water management plan proposal and by sharing the experience, aims to pilot other RBs facing similar global change challenges.

Results of the BeWater project are expected to be of relevance at the local, national and Mediterranean scale. In each RB, a set of realistic, sustainable and adaptive water management options (WMOs) will be developed. These WMOs will be developed into adaptation plans, which will lead to effective adaptation policies, whilst raising awareness about the challenges of water management and water use under climate change among local society.

The aim of the paper is to present the participatory approach that is being developed in the BeWater project, using the Vipava RB in Slovenia as an example.

MATERIAL AND METHODS

Vipava River Basin

The Vipava RB is located in south-west Slovenia and is part of the Soča RB. The Vipava RB covers an area of 589 km² with a population of approximately 52,000 inhabitants. Geographically Vipava RB covers the entire Vipava Valley, part of Karst region (north-eastern part with Raša River) and Trnovo Forest (Trnovski gozd), Nanos Plateau and Hrušica Plateau (south-western part with Bela River) (Perko and Orožen Adamič, 1998).

Due to the location of the valley, the Vipava RB is subject to a strong Mediterranean climate interplaying with continental climate conditions (Kafež Bogataj, 2013) with hot dry summers and mild winters. Average annual precipitations in the upper part of the Vipava Valley are around 2,000 mm per year, and in the lower part of the valley and the Vipava Hills around 1,500 mm per year. Maximum evaporation is in the southern part of the valley and decreases with altitude.

The upper part of Vipava RB, stretching from Ajdovščina to Podnanos, is usually a subject to very strong and gusty north-eastern downslope winds, called Bora. Here the speed of the wind can exceed 200 km/h (Korošec, 2010) and thus causes damage to agricultural plants, buildings and causes problems in the traffic (restrictions for trucks and even cars).

The main water body in Vipava RB, the Vipava River, drains water from the Flysch rocks and alluvial sediments in the central part of the Vipava valley and from Karstic hinterland in the northern and south-eastern part of its recharge area (Brenčič, 2013). Vipava River is 47 km long with an average annual flow of 17.3 m³/s (Frantar, 2008). The water level of the Vipava River is subject to big oscillations in flow due to torrential surface tributaries (e.g. Lijak and Hubelj). During the period of regulation and canalization (1983-1986), a large area was transformed for agriculture purposes, profoundly changing the water regime in the whole valley. Consequently, the lower part of the valley has flooded more frequently (Brenčič, 2013) and several catastrophic floods occurred in past years which resulted from changes in the precipitation regime, one of the consequences of climate change. The amelioration works performed in the 1980's included the construction of the largest Slovenian water reservoir with a high earth dam (Brenčič, 2013). Vogršček is a multi-purpose water reservoir, primarily dedicated to providing irrigation for agricultural land and flood protection and, together with its associated infrastructure, represents the largest irrigation system in the country.

Climate change projections for the Euro-Mediterranean region foresee increase in annual air temperature and decline in annual precipitation, as well as an increasing number of extreme events such as droughts and floods. Data from the Slovenian Environment Agency show an increase in air temperatures together with raising autumn precipitation (with mainly decline in other seasons) in all regions in Slovenia. Data show that the average annual temperature in the Vipava RB will increase by 1.3°C or more by 2030 together with reduction of precipitation in the summer and increase in the winter (Bergant, 2010). In Slovenia, hydro-meteorological research shows that minor changes in the spatial and temporal distribution of precipitation can cause heavy regional problems, such as floods, droughts and water scarcity. Short but intensive rainfall results in flash floods at RB and sub-basin scales. Watercourses in Slovenia are predominantly of a torrential type with a strong erosion component and short response time. Over the past 40 years, Slovenia experienced many droughts, most of which occurred in the last 15 years. The most vulnerable regions are the coastal and north-eastern areas where total annual rainfall has been the lowest. Extreme weather events can lead to socio-economic losses and have a significant impact on the environment.

Stakeholder participation

Participation and engagement of a wide group of stakeholders has a crucial role in identification and evaluation of WMOs and later in preparation of adaptation plan for Vipava RB. BeWater stakeholders represent any group or individual who is affected by or can affect the achievement of the objectives of BeWater. The major challenges in participatory science-stakeholder processes are different levels of knowledge, and differing values, assumptions and terminologies among scientists and stakeholders. To achieve consistency and comparability of a stakeholder participation in all four RBs, a common methodology for identification and selection of stakeholders was developed (Libbrecht et al., 2015). The core moment of interaction in which relevant stakeholders of Vipava RB actively participate and are called to provide concrete input to the process of WMOs definition and adaptation strategies identification are BeWater workshops.

The first step of a stakeholder engagement process was to identify relevant stakeholders in the Vipava RB from national to local level, including civil society, scientists, public administrators (policy makers and implementers, institutional administrations and local governments), water sector actors (e.g. service providers) and other related sectors (e.g. agriculture, tourism, energy). A stakeholder database was created by CQI method¹, as part of Stakeholder Integrated Research (STIR) approach (Gramberger et al., 2014) using an online relational software Capsule (<https://capsulecrm.com>). The stakeholder database, which consists of not only stakeholders who can provide insightful, original and credible input regarding water management, but also stakeholders of a wider backgrounds, represents a supporting management tool (Libbrecht et al., 2015) used for identification and selection of stakeholders when designing BeWater engagement processes.

In the frame of the stakeholder engagement process several professionally facilitated workshops, interviews, group session and events were and will be organized in the Vipava RB (Table 1). Parallel to the stakeholder engagement, an awareness campaign in the form of tailor-made mobile exhibition is taking place in Vipava RB with the aim to raise social awareness and to encourage capacity building, empowerment and social formation in water management challenges and adaptation.

Table 1: Participatory processes within BeWater project in Vipava river basin

Participatory process	Objective	Date
First stakeholder workshop	Identification of challenges regarding water management in Vipava RB, drawing an outline for future WMOs in Vipava RB.	June 2014
Individual interviews	Collecting information from policy-makers on the current situation of adaptation to climate changes on national and RB level, their experience with public participation in the design of policies and potential conflicts that may appear. Discussion on current water use problems and desired state for Vipava RB.	October 2014
Individual or group sessions	Validation and harmonization of Fuzzy Cognitive Map (FCM) as a result of the first stakeholder workshop.	January – February 2015
Second	Evaluation of WMOs as a result of the first stakeholder	May 2015

¹ CQI stands for C = Criteria: Defining a set of criteria and categories for SH groups that are either affecting or affected by the project; Q = Quota: Setting specific minimum quotas for all categories; I = Individuals: Identifying key institutional positions, and subsequently individuals that fit the categories, with the overall selection fitting the quotas set.

Participatory process	Objective	Date
stakeholder workshop	workshop.	
Public meeting	Presentation and discussion of final WMOs.	October 2015
Third stakeholder workshop	Validation of draft adaptation plan for Vipava RB.	February 2016

Water Management Options

During the first stakeholder workshop, the BeWater project team discussed with stakeholders the current state, the expected impacts of climate change and other important factors to identify the main challenges that need to be addressed. Furthermore, potential WMOs were identified to deal with the challenges. In next steps, WMOs were formulated in detail and evaluated. The steps are described briefly below and for more details on each of the steps, we refer to Verkerk et. al. (2015).

a) Building the narrative of the Vipava river basin through Fuzzy cognitive map

Information on the current state and future expectation regarding water management, collected in first stakeholder workshop in the Vipava RB and additional interviews in 2014, were organized and synthesized by building a narrative of the Vipava RB. The narrative contains description of the current status of the Vipava RB, the issues and the challenges at stake in the Vipava RB. As such, narrative provides a coherent framework for the formulation of WMOs which are understood as ways of tackling the challenges and their causes to reach the desired future status in the RB (Verkerk et. al., 2015).

The written narrative was complimented with a graphical representation of the RB in the form of a Fuzzy Cognitive Map (FCM) (Figure 1) developed with modelling software Mental Modeler tool (<http://www.mentalmodeler.org/>). FCM is cognitive because it is a representation of a belief system, i.e. it represents the dynamics in a system based on the understanding of individuals (Kok, 2009, Jetter and Kok, 2014), and as such represents a suitable tool to facilitate communication between stakeholders from various sectors and backgrounds. FCM is composed of boxes that represent main components of the RB (factors) and arrows that represent the relationships between the factors. The arrows reflect the sign and strength of the relationships between the factors. FCM allows organizing all the information available on the RB, providing with a clear understanding of the current status in the RB: main challenges at stake, drivers that influence them and their relationships in the system.

b) Formulation of Water Management Options

To address the challenges identified, stakeholders were also asked to suggest potential WMOs. Based on their suggestions, a set of WMOs were identified and formulated for each of the challenges. Identification and formulation of WMOs was done in parallel with development of FCM to allow assessment of the impacts of different WMOs in the phase of evaluation. When formulating WMOs, pragmatic approach was adopted requiring WMO to address one or more challenges identified by the stakeholders. As the number of challenges is not limited, the maximum number of 30 WMOs for Vipava RB was chosen to make analysis of WMOs with the given resources.

WMOs were characterised using a fixed set of descriptors that mainly refer to the implementation of WMOs (the parts of the RB, the sectors and land uses concerned, time frame, costs, type of approach, feasibility, acceptability, the relation to global change and to extreme

events). With clustering WMOs, based on the similarity of descriptors and challenges that they address and refining process, WMOs were developed to the point that allowed further analysis.

c) Evaluation of Water Management Options

Although evaluation of WMOs is still in progress, basic steps of the evaluation process have been performed. Till now, WMOs were evaluated through impact assessment, performed by experts and multi-criteria analysis (MCA), performed together with stakeholders.

The BeWater project team used FCM to assess the impact of WMOs on the RB. As FCM can be converted into a simple mathematical model, BeWater project team used FCM as a semi-quantitative system dynamics model to assess the impacts of WMOs. This was done by introducing WMOs into FCM as a) new boxes connected to FCM factors and identified sign and strength of the new relationship or b) as changes in sign and strength of already identified relationships between the FCM factors.

MCA, as the main evaluation method in BeWater project, was performed by involvement of stakeholders. Criteria for MCA included FCM factors (except drivers) and a set of descriptors that characterize WMOs in formulation step.

RESULTS AND DISCUSSION

The awareness campaign

As a part of the awareness campaign, a mobile exhibition comprising of seven roll-up posters, was on display at key venues in critical communities throughout the Vipava RB, and at the Ministry of Agriculture, Forestry and Food (in cooperation with the Ministry for the Environment and Spatial Planning) in Ljubljana. Moreover, BeWater project was presented to the broader public in February 2015 in the two-day event “Primorski vodni dnevi” held in Nova Gorica.

Identifying challenges and options

In the first stakeholder workshop, carried out in June 2014 in Ajdovščina, all together 32 stakeholders including representatives of government institutions responsible for the environment, regional development agency, agro-meteorology researchers, involved municipalities, high school educators, agriculture consultants and local fishermen, company involved in water management and hydropower, representatives of small local businesses and tourist organisations participated the workshop. With the help of professional facilitation stakeholders presented their views on the current state and future expectations regarding water management in the Vipava RB. Participants showed a high level of interest for the BeWater project and future involvement in designing adaptation plan. Namely, it has been highlighted the importance of continued stakeholder involvement in the future planning of RB water management. It has been also stressed out that dialogue and collaboration between the inhabitants of the RB and local, regional and national policy-makers is crucial for successfully solving problems.

In October 2014, 14 additional interviews with stakeholders were performed to a) collect information from policy-makers on the current situation of adaptation to climate changes on national and RB level, their experience with public participation in the design of policies and potential conflicts that may appear and b) to discuss current water use problems and desired state for the Vipava RB with stakeholders that were not able to attend the first stakeholder workshop. Although the interviews gave more flexibility to stakeholder availability (time and

place) and gave additional information on current water use problems through different sectors perspectives, interactions with other stakeholder by changing ideas and views were missing.

With 9 individual and 2 group sessions, carried out in January and February 2015, 22 stakeholders already involved in BeWater project were engaged to validate FCM. The objective was to harmonize FCM developed by BeWater project team with the knowledge, points of view and perception of involved stakeholders. As none of the stakeholders involved was an expert in modelling, the understanding of FCM functioning was very different, but it provided rich and challenging input. All the information gathered was used in later stages of the narrative process.

The narrative of the Vipava RB and FCM (Figure 1) were developed based on the outcomes of the first workshop and interviews. FCM reflects the interactions and dynamics in the Vipava RB based on the understanding of stakeholders. FCM is centred on the three main challenges identified by stakeholders: a) water availability during droughts in growing season, b) flood risk reduction, and c) appropriate water quality. FCM includes 18 factors connected with each other. Based on stakeholders comments, five main drivers of the system were identified (precipitation, industrial production, wind, water infrastructure and forest management, river basin management, and air temperature in growing season) that affect either directly the aforementioned challenges in the Vipava RB or indirectly through nine factors.

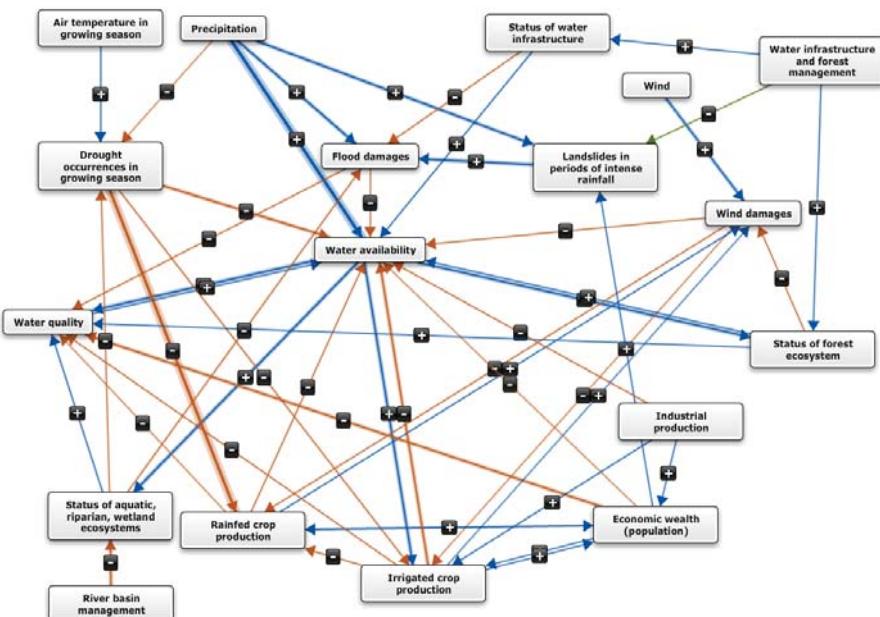


Figure1: Fuzzy cognitive map of the Vipava river basin

Due to the interaction with numerous factors in FCM, water availability is the main factor in the Vipava RB. One example of interactions is described below to show the logic behind FCM. Water availability is positively affected by precipitation, water quality, status of water infrastructure and status of forest ecosystem. If showing example of precipitation that positively influences water availability, positive sign indicates that if precipitation is higher, water availability is higher. The strongest positive influence (+ 0.9) was identified, because precipitation is the main source of water in the Vipava RB. Namely, precipitation on plateaus north and north-east side of the RB recharge numerous karst springs (Hubelj, Mrzlek) on the outskirts of plateaus that are intended for water supply.

Formulating Water Management Options

Altogether 23 WMOs were formulated for the Vipava RB. BeWater stakeholders proposed options such as »Construction of water reservoirs on Vipava river and its tributaries« and »Development of irrigation systems« to be better prepared for more frequent and intense droughts. It has been also indicated that »Restoration of Vipava river, its tributaries, meanders and oxbows« are options that will help mitigate drought occurrences during growing seasons. But only with systematic funding, establishment of inter-municipal working group, dialogue and collaboration between the inhabitants of the basin and local, regional and national policy-makers and raising awareness, proposed options can be successfully implemented and serve its purpose.

Evaluation of Water Management Options

All WMOs were evaluated by inserting them in FCM, which resulted in a semi-quantitative impact assessment. Results of this assessment were discussed and evaluated in a second, professionally facilitated stakeholder workshop, carried out in May 2015 in Ajdovščina. All together 12 stakeholders participated the workshop including representatives of government institutions responsible for nature conservation regional development agency, municipalities, agro-meteorology researchers, high school educators, agriculture consultants and local farmer, company involved in water management and non-governmental organization. There was a fairly large share of participants from the agriculture and water sectors, as well as public administration, which were slightly over-represented compared to the rest of the categories.

The evaluation of WMOs, carried out together with stakeholders in the second workshop, was performed with the help of MCA. List of proposed criteria for MCA included factors from FCM and WMOs characterisation criteria. Stakeholders selected 13 criteria for MCA and reviewed the range of possible outcomes (the proposed scores), with indicating their acceptance of or changing to the proposed scores. Stakeholders also determined relative importance of each criteria, by assigning points from 1 to 10 to the selected criteria, with 10 representing the greatest importance. The results showed that stakeholders gave most of the importance to: 1) water availability, followed by 2) water quality, 3) irrigation crop production, 4) status of water infrastructure and 5) flood damages.

The preliminary MCA results and the ranking of WMOs, which is the result of the scoring of individual criteria were discussed together with stakeholders. Although stakeholders considering challenge b) Flood risk reduction agreed on the results of MCA, that corresponded with the expected top 3 WMOs (e.g. ranked on first place was “Construction of dry reservoirs along watercourses in the upper part of the RB.”), the other two groups considering challenges a) water availability during droughts in growing season and c) appropriate water quality stressed out that the outcomes of MCA were not always in line with their expectations.

At this stage of the project, comments from stakeholders are being carefully reviewed with respect to preliminary outcomes of MCA. Further analysis will be made to check the impact of each criteria on the final results (Sensitivity analysis) and if needed, update of MCA will be carried out. In addition to MCA, a simple cost analysis will be performed for all WMOs, to help develop an adaptation plan for the Vipava RB.

CONCLUSION

Through a continuous collaboration and involvement of stakeholders, the BeWater project attempts to inspire society to take ownership over adaptive water resources management in the Vipava river basin (RB). In four BeWater case studies (Tordera in Spain, Rmel in Tunisia, Pedieos in Cyprus and Vipava in Slovenia) an innovative participatory approach is being

developed and applied with the aim to be used also in other Mediterranean RBs. In all four case study RBs, water management options (WMOs) were identified, formulated and evaluated with close involvement of stakeholders. Stakeholders from the Vipava RB, mostly from local and regional level, showed a high level of interest for the BeWater project and their future involvement in adaptation plan designing. Although differences for future water management in the Vipava RB exist and are expected among water users and various sectors, it has been agreed that stakeholder involvement in pre-stages of future planning of water management in Vipava RB is important if not even essential process for successful implementation of proposed WMOs. Although there are difficulties in ensuring active participation of stakeholders from different levels of decision-making (representatives of ministries) in BeWater workshops, they represent a valuable source of information in BeWater project. While stakeholder comments on the preliminary outcomes of the evaluation steps are being processed to prepare the final set of WMOs, it is clear that the parts of the participatory processes conducted so far led to a solid basis for the design of the adaptation plan. This plan will contain strategic measures covering all relevant climate impacts, describing each adaptation measure, as well as its implementation process, including cost, timing, geographical locations (when applicable), and expected results. The plan will also include potential sources of funding for the prioritized measures. The adaptation plan will be validated by various stakeholders, setting the relevance of the measures as well as conducting the prioritization of adaptation measures, relevant and feasible for the Vipava RB. Stakeholders generally appreciated the participatory approach and are already thinking on next steps with regards to setting out priorities and searching funding opportunities, as well as applying to tenders.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was performed within the framework of the BeWater project, financed through 7th Framework Programme of the European Commission, under the Science in Society initiative, Grant agreement no: 612385. The authors are grateful for all the support. The authors are also grateful to Elsa Varela, Nicolas Robert (both from European Forest Institute, Mediterranean Regional Office) and Dr. Kasper Kok (from Wageningen University) for their contribution in developing methods for formulation of water management options and the Fuzzy Cognitive Map produced for the Vipava river basin.

REFERENCES

- Bergant, K. (2010), The climate in the future – how much do we know about it? Environment is changing. Climate variability in Slovenia and its impact on the aquatic environment. Cegnar T. (Ed.). Slovenian Environmental Agency, Ljubljana, 141-159. (in Slovene)
- Brenčič, M. (2013), Water. Vipava Valley. Abiota, flora, fauna, history, art history, material culture, economy and nature conservation. Pavšič J. (Ed.). Slovenska Matica, Ljubljana, 19-37. (in Slovene)
- EEA (2013), Adaptation in Europe - Addressing risks and opportunities from climate change in the context of socio-economic developments (Publication No. 3/2013), EEA Report. European Environment Agency.
- Frantar, P. (2008), Water Balance of Slovenia 1971–2000. Slovenian Environmental Agency. Web site:
http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/vodna%20bilanca/vodn_a_bilanca.html, August 2015
- Gramberger, M., Zellmer, K., Kok, K., Metzger, M. J. (2014), Stakeholder integrated research (STIR): a new approach tested in climate change adaptation research. Climate Change, DOI 10.1007/s10584-014-1225-x.

- Haasnoot, M., Kwakkel, J.H., Walker, W.E., ter Maat, J. (2013), Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global Environmental Change* 23, 485-498.
- Jetter, A.J. and Kok, K., (2014), Fuzzy Cognitive Maps for futures studies—A methodological assessment of concepts and methods. *Futures* 61, 45-57.
- Kajfež Bogataj, L. (2013), Climate. Vipava Valley. Abiota, flora, fauna, history, art history, material culture, economy and nature conservation. Pavšič J. (Ed.). Slovenska Matica, Ljubljana, 47-53 pp. (in Slovene)
- Kok, K. (2009), The potential of Fuzzy Cognitive Maps for semi-quantitative scenario development, with an example from Brazil. *Global Environmental Change* 19: 122-133.
- Korošec, M. (2010), Traffic management on the Razdro – Vrtojba expressway under strong bora by using road – weather information system (CVIS). 10. Slovenian Congress about Roads and Traffic, Portorož, 20. – 22. October 2010, 1065–1073. (in Slovene)
- Lee, K.N. (1999), Appraising adaptive management. *Conservation Ecology* 3(2): 3. <http://www.consecol.org/vol3/iss2/art3/>
- Libbrecht, S., Dude, R.E., Gramberger, M. and Watson, W. (2015), Protocol for performance of participatory processes, part of Deliverable D2.3 Guideline report on the BeWater approach outlining principles, methodology, concepts and protocols of the project. FP7 project no. 612385 - SIS.2013.1.2-1European Commission, 40. http://bewaterproject.eu/images/deliverables/D2.3_Guideline_report_on_the_BeWater_approach_outlining_principles_methodology_concepts_and_protocols.pdf
- Perko, D. and Orožen Adamič, M. (1998), Slovenia, the landscape and the people. Second edition. Ljubljana. Mladinska knjiga. (in Slovene)
- Verkerk, H., Varela, E., Robert, N. and Martinez de Arano, I. (2015), Protocol for formulation of water management options. Deliverable D2.3, BeWater, FP7 project no. 612385-SIS.2013.1.2-1 European Commission, 19. http://bewaterproject.eu/images/deliverables/D2.3_Guideline_report_on_the_BeWater_approach_outlining_principles_methodology_concepts_and_protocols.pdf

Infektivni rizici vodoopskrbe u Splitsko-dalmatinskoj županiji

Mladen Smoljanović¹, Ankica Smoljanović²

1 Medicinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Šoltanska 2, 21 000 Split, Hrvatska

2 Nastavni zavod za javno zdravstvo Splitsko-dalmatinske županije, Vukovarska 46,
21 000 Split, Hrvatska

SAŽETAK

Cilj:

Retrospektivnom studijom prostorne i vremenske raspodjele bolesnika od akutnih crijevnih zaraznih bolesti (ACZB) (A00-A09, MKB-10) bez skupine Salmoneloznih trovanja s hranom (A02, MKB-10) registriranih Prijavama zaraznih bolesti u Službi za epidemiologiju Nastavnog zavoda za javno zdravstvo Splitsko-dalmatinske županije (NZJZ SDŽ) u razdoblju 2001. do 2011. godine utvrditi postoje li razlike u pobolu stanovnika pojedinih područja vodoopskrbnih sustava SDŽ-a te koliki su rizici pobola od ACZB u odnosu na smještaj, veličinu i način obrade voda iz različitih vodoopskrbnih sustava u Splitsko-dalmatinskoj županiji (SDŽ).

Materijal i metode:

Izvor podataka o ACZB su Prijave zaraznih bolesti dostavljene NZJZ SDŽ prema adresama bolesnika u gradovima i općinama SDŽ-a. Podaci o objektima vodoopskrbe u SDŽ preuzeti su iz publikacije Hrvatskih voda. Na području SDŽ postoji ukupno 13 sustava vodoopskrbe. Izvan svog područja SDŽ koristi vodu još iz 5 sustava, od čega su 2 vodoopskrbana sustava sa vodozahvatima iz susjednih županija i 3 sa područja Republike Bosne i Hercegovine.

Vodovodi su analizirani po veličini u odnosu na broj stanovnika u opskrbi vodom do 10.000 i više od 10.000 stanovnika, te prema načinu obrade voda: vodovodi sa potpunom higijenskom obradom voda s uređajima za kondicioniranje i popravku voda (UKPV) i vodovodi samo s kloriranjem voda.

Usporedljivi rezultati pobola stanovnika dobiveni su za 12 vodoopskrbnih objekata iz sastava 9 vodoopskrbnih sustava (VS).

Pobol je iskazan u stopama na 100.000 stanovnika. Broj stanovnika preuzet je iz podataka popisa stanovništva 2001. i 2011. godine.

Značajnost razlika izračunata je programom STATISTICA 7 iskazana χ^2 -testom na razini pouzdanosti $P<0,001$.

Rezultati:

Rezultati pobola po vodoopskrbnim objektima prikazani su za petogodišnje razdoblje 2001. do 2005. godine, zatim u godini najveće epidemiske pojavnosti 2006. godini, te u poslijepidemijskom petogodišnjem razdoblju 2007.-2011. Prosječna godišnja incidenciju ACZB u SDŽ za razdoblje 2001.-2011. godine bila je 252,82/100.000, za vodovode do 10.000

stanovnika 561,50/100.000, a za vodovode preko 10.000 stanovnika 240,31/100.000 ($\chi^2=783,9; p<0,0001$). Regionalni sustav (RS) Makarsko primorje i RS Omiš-Brač-Hvar-Šolta, bez obzira što zahvaćaju površinsku vodu rijeke Cetine, a imaju UKPV, imali su najmanju prosječnu godišnju incidenciju 147,09/100.000, dok su VS bez UKPV imali statistički značajno veću incidenciju 252,00/100.000 ($\chi^2=278,8; p<0,0001$).

U poslijepidemijskom razdoblju 2007.-2011. godine najveće stope incidencije, a time i najveći rizik vodoopskrbe imali su mali vodovodi bez UKPV: VS Grada Vrgorca 1044,49/100.000 i VS Općine Marina 837,47/100.000, a najmanje incidencije bile su na vodovodima s UKPV: RS Makarsko primorje 80,26/100.000 i RS Omiš-Brač-Hvar-Šolta kopneni krak 154,15/100.000.

Zaključak:

U Splitsko-dalmatinskoj županiji kao i u svim razvijenim zemljama klasične crijevne antrroponeze trbušni tifus, dizenterija i hepatitis-A su gotovo eradikirane. Bilježe se samo importirani oblici. Ulaganja u vodoopskrbu posljednjih decenija dovela su do zamjetnih poboljšanja što je prepoznato u turističkim emitivnim zemljama zbog čega je Hrvatska i SDŽ zdravstveno i sanitarno-higijenski visoko sigurno turističko odredište.

Sadašnje crijevne infekcije su blage bolesti dijarealnog sindroma (enterocolitis ac.) virusne etiologije s kojima se susreću razvijene zemlje.

Rizici infekcije postoje uglavnom na malim nedovoljno tehnički opremljenim vodovodima koji opskrbuju svega 3,9% stanovnika SDŽ uglavnom u zaobalju izvan turističkih područja.

Veliki vodovodi s uređajima za kondicioniranje i popravku vode za ljudsku potrošnju kao što su vodovodi RS Makarskog primorja i RS Omiš-Brač-Hvar-Šolta su najveće sigurnosti, tj. najmanjeg rizika vodoopskrbe.

U odnosu na prošlost veoma rijetki incidenti vodoopskrbe mogu se spriječiti okrugnjavanjem vodoopskrbnih objekata i izgradnjom uređaja za higijensku obradu voda.

Sadašnji sustav nadzora vodoopskrbe povremenim kemijskim i mikrobiološkim analizama voda nije dostatan. Nameće se potreba uvođenja dodatnog biološkog sustava praćenja rizika vodoopskrbe praćenjem pobola od akutnih crijevnih infekcija stanovništa pripadajućeg vodoopskrbnog objekta.

KLJUČNE RIJEČI

infektivni rizik vodoopskrbe; prijave zaraznih bolesti; bološki monitoring; turističke epidemije; Splitsko-dalmatinska županija

UVOD

Akutne crijevne zarazne bolesti (ACZB) u razvijenim zemljama odavno nisu u vrhu javnozdravstvenog interesa. Klasične crijevne antropozne bolesti tzv. „bolesti prljavih ruku“: trbušni tifus, bacilarna dizenterija i hepatitis A, simboli siromaštva i zaostalosti, su eliminirane gotovo do eradikacije. Bilježe se samo rijetki pojedinačni importirani oblici iz siromašnih zemalja u razvoju (1, 2).

Danas prevladava virusna etiologija ACZB. Virusima izazvane akutne crijevne infekcije obično imaju blagi tijek bolesti. Većina zaraženih i ne traži liječničku pomoć. Broj hospitalizacija je malen, a smrtni ishodi su izuzetno rijetki. Zbog blage prirode prisutno je podcenjivanje tih bolesti te zbog podregistracije i podprijavljivanja izostaje stvarni uvid u njihovu pojavnost. Međutim, daljnja sudbina jednom unesenih virusa u ljudski organizam nije dovoljno istražena. Nova saznanja povezanosti virusa i kroničnih nezaraznih bolesti razlog su za stalni i valjani epidemiološki nadzor virusima izazvanih ACZB (3,4,5).

ACZB stalna su prijetnja u izmjenjenoj patologiji i epidemiologiji tzv. novih izranjajućih bolesti (emerging diseases) poput epidemije Escherichiae coli O104 u Njemačkoj 2011. godine s preko 4.000 oboljelih od kojih je jedna tisuća bila potrebna bubrežne dijalize, a 50 ih je umrlo od teškog oblika enterohemoragičnog i enterotoksičnog enterokolitisa i hemolitičkog uremičnog sindroma (6).

Kozmopolitizacija prehrane, sve veća turistička aktivnost, učestale migracije stanovništva zbog gospodarskih kriza, ratova i prirodnih katastrofa uzroci su premještanja brojnih uzročnika ACZB različitim dijelovima svijeta (7,8).

Primjer Haitija 2010-2011 godine, gdje kolere nije bilo više od 50 godina, upozorava nas kako već zaboravljene bolesti mogu zbog ljudskih propusta prerasti u epidemiju katastrofalnih razmjera s preko 500.000 bolesnika i preko 7.000 umrlih, zbog čega se mora biti u stanju stalne pozornosti. Ne smije se zaboraviti na uvijek prisutnu mogućnost bioterističkih napada (9,10,11).

Zbog svih tih činjenica poznavanje kretanja ACZB na određenom području neophodan je uvjet za svaki profilaktički rad epidemiološke službe (12).

ACZB u Hrvatskoj, prema podatcima Hrvatskog zavoda za javno zdravstvo (HZJZ) u stalnom su padu (13). U Splitsko-dalmatinskoj županiji (SDŽ) broj prijava ACZB bez Salmoneloznog trovanja hranom od povećanja pobola epidemijskih razmjera 2006. godine nastavlja daljnji trend rasta (14,15).

U razvijenim zemljama i zemljama u razvoju stalno se ukazuje na važnost praćenja i istraživanja puta prijenosa uzročnika ACZB vodom za ljudsku potrošnju, naročito virusa i protozoa koji su otporni na ubičajene načine dezinfekcije (3,16,17).

Sanitarna mikrobiologija, poglavito sanitarna virologija voda (površinskih, izvorskih, iz vodovodne mreže te otpadnih voda) veoma je zahtjevna i skupa. Novim metodama pretraga molekularne biologije s real-time polymerase chain reaction (RT PCR) olakšale su se i učinile dostupnijima i bržim mikrobiološke analize koje će u skoroj budućnosti potisnuti dosadašnje metode praćenja mikrobioloških pokazatelja ukupnih i fekalnih onečišćenja voda (18).

Pored dosadašnjih standardnih načina praćenja „malim“ i „velikim“ kemijskim i mikrobiološkim sanitarnim analizama voda i kroz tzv. biološki monitoring rizika vodoopskrbe, nije korišten biološki monitoring temeljem registriranog pobola stanovnika od ACZB na područjima pojedinih vodoopskrbnih sustava, a koji može izuzetno koristiti (15).

Izgradnja vodoopskrbih objekata, posebno vodovoda, u Hrvatskoj ima svoju tradiciju iz antičkog razdoblja. Dioklecijanov vodovod izgrađen u 3. stoljeću PC još je u funkciji. Intenzivna izgradnja vodovoda s kraja 19. stoljeća nastavlja se u 20. stoljeću (19). Novi i suvremeni vodovodi su osnovni preduvjet razvoja turističkog gospodarstva. Posljednje dvije decenije u SDŽ u razvoj vodoopskrbe Vlada Republike Hrvatske uložila je ogromna sredstva posebno na području Dalmatinske zagore. Procjene su da je danas preko 95% stanovništva SDŽ u sustavu vodoopskrbe iz javnih vodovoda.

Unatoč ulaganju na osuvremenjivanju vodoopskrbe epidemijski incidenti događaju se kako na malim vodovodima tako i na velikim vodoopskrbnim sustavima. Najčešći uzrok epidemijama su tehnički nedostaci, međutim nisu isključeni ni propusti subjektivne prirode posebno u provedbi nadzora nad sigurnošću vodoopskrbe. Epidemije s putem prijenosa vodom za piće zbog izmjenjene patologije uzročnika ACZB i prevladavajuće virusne etiologije rijetko se uočavaju. U pravilu uoče se kasno kad epidemija dosegne vrhunac i kad je istraživanje uzroka otežano te mnoge ostaju neutvrđenog mehanizma nastanka i vrste uzročnika. Vlasnici VOO često su zapreka u istrazi epidemija, a time i otklanjanju uzroka i samoj prevenciji sličnih incidenata u budućnosti. Potrebno je imati

na umu riječi Andrije Štampara: „Informiranje javnosti važnije je od bilo kojeg zakona!“ Praktična provedba tog načela rezultirala je trajnim poboljšanjima vodoopskrbe i dokidanjem hidričnih epidemija u brojnim primjerima (20,21,22,23).

CILJ

Retrospektivnom studijom prostorne i vremenske raspodjele oboljelih od ACZB (A00-A09, MKB-10) bez podskupine Salmoneloznih trovanja s hranom (A02, MKB-10) registriranih Prijavama zaraznih bolesti u Splitsko-dalmatinskoj županiji u razdoblju 2001. do 2011. godina utvrditi postoje li razlike u pobolu stanovnika pojedinih područja SDŽ-a te koliki su rizici pobola od ACZB bez Salmoneloza u odnosu na smještaj, veličinu i način obrade voda iz različitih vodoopskrbnih objekata.

MATERIJAL I METODE

U radu je analizirano kretanje ACZB iz skupine A00-A09, MKB-10 bez podskupine Salmoneloznih trovanja s hranom (A02, MKB-10) na području SDŽ-a u razdoblju 2001.-2011. godine. Salmonelozna trovanja hranom su isključena iz razloga što imaju dokazani alimentarni put prijenosa, dok sve ostale podskupine ACZB nemaju jasno razgraničen alimentarni od nealimentarnog puta prijenosa.

Izvor podataka o ACZB (A00-A09, MKB-10) su Prijave zaraznih bolesti dostavljene Nastavnom zavodu za javno zdravstvo Splitsko-dalmatinske županije (NZJZ SDŽ), a analizirane zarazne bolesti su razvrstane prema adresama stanovanja oboljelih u pripadajuće gradove i općine SDŽ.

Podatci o objektima vodoopskrbe u Splitsko-dalmatinskoj županiji preuzeti su iz publikacije Hrvatskih voda „Vodoopskrbni plan Splitsko-dalmatinske županije“ (24).

Ukupan broj stanovnika po gradovima i općinama Splitsko-dalmatinske županije za izračun stopa pobola preuzet je iz Popisa stanovnika 2001. i 2011. godine Državnog zavoda za statistiku Republike Hrvatske. Prosječni broj stanovnika po razdobljima međupopisnih godina određen je aritmetičkom sredinom.

Obzirom da se Prijave zaraznih bolesti obrađuju i prikazuju na razini gradova i općina, a ne po naseljima, stanovnici vodovoda za naselja Žrnovnica, Sitno Donje, Podgrađe,

Slime, Kostanje, Seoca, Svinišće, Kučiće, Podašilje i stanovnici Zamosorja koji nisu priključeni na vodovodnu mrežu, nisu razmatrani kao ni stanovništvo s vodoopskrbnih objekata iz susjednih županija (Gradac, Prgomet-Primorski Dolac).

Na području Splitsko-dalmatinske županije ima ukupno 13 vodoopskrbnih sustava (VOS). SDŽ koristi vodu izvan svog područja još iz 5 VOS, od čega su 2 VOS iz susjednih županija i 3 VOS s područja Republike Bosne i Hercegovine.

Regionalni sustavi (RS) Omiš-Brač-Hvar-Šolta i RS Makarsko primorje (ukupno 72.109 stanovnika, cca 16 % stanovništva SDŽ) zahvaćaju površinsku vodu iz kanjona rijeke Cetine nizvodno od Grada Trilja.

Svi ostali VOS koriste vodu iz vodozahvata sa izvora rijeka ili podzemnih akumulacija (tablica 1.).

Tablica 1. Vodoopskrbni sustavi/objekti u Splitsko-dalmatinskoj županiji, 2008.

Vodoopskrbni sustavi/objekti		Broj stanovnika (Popis, 2011.)	Udio (%) od ukupnog broja stanovnika
1.	Regionalni sustav Split-Solin-Kaštela-Trogir (RS SSKT)	267.787	58,82
2.	Regionalni sustav Omiš-Brač-Hvar-Šolta-Vis (RS OBHSV)	46.653	10,25
3.	Regionalni sustav Makarsko primorje (RS Makarsko primorje)	25.456	5,59
4.	Grupni vodovod Sinjske krajine (GV Sinjske krajine)	57.963	12,73
5.	Grupni vodovod Imotske krajine (GV Imotske krajine)	27.086	5,95
6.	Vodoopskrbni sustav Grada Vrgorca (VS Vrgorac)	6.501	1,43
7.	Vodoopskrbni sustav Grada Vrlike (VS Vrlika)	2.159	0,47
8.	Vodoopskrbni sustav Općine Marina (VS Marina)	4.597	1,01
9.	Vodoopskrbni sustav otoka Visa (VS otok Vis)	3.429	0,75
10.	Vodovod Žrnovnica	3.234	0,71
11.	Vodovod Sitno Donje	314	0,07
12.	Vodovod Studenci	747	0,16
13.	Vodovod Podašilje	710	0,16
14.	Regionalni sustav Šibenik voda za Podsustav Prgomet-Primorski Dolac	1.460	0,32
15.	Vodoopskrbni sustav „Josip Jović“ dio Grupnog vodovoda Imotske krajine	1.526	0,34
16.	Vodoopskrbni sustav Tribistovo – voda za Vinjane Gornje	1.456	0,32
17.	Vodoopskrbni sustav Ploče - voda za Podsustav Gradac	3.308	0,73
18.	Vodoopskrbni sustav Čikola – voda za Podsustav Čikola	856	0,19
UKUPNO Splitsko-dalmatinska županija		455.242	100,00

Izvor: Hrvatske vode, *Vodoopskrbni plan Splitsko-dalmatinske županije,*

2008. <http://www.dalmacija.hr/Portals/0/docs/Skupstina/2011/24/12a.%20vodplanst.pdf>

LEGENDA: Podebljano označeni vodoopskrbni sustavi (1.-4.; 7; 10.-13.) sa slivnog područja rijeke

Cetine i čija je kvaljeta vode za piće u zavisnosti o kvaliteti voda rijeke Cetine i njezinih pritoka.

Vodoopskrbni sustavi 14.-18. su sustavi smješteni izvan područja SDŽ-a

Izvori rijeka Jadra, Žrnovnice i Studenca su izvori krških rijeka ponornica. Svoja ishodišta imaju u koritu rijeke Cetine nizvodno od Grada Trilja. Iz tog razloga vode iz

ovih izvora treba smatrati površinskim vodama rijeke Cetine. Hidrogeološko stanje na slivu rijeke Cetine izravno utiče na kvalitetu voda ovih izvora.

Sliv rijeke Cetine dovodom vode iz akumulacijskog jezera Buško blato proširen je do vododjelnice Jadranskog i Podunavskog sliva, do slimena planina Staretina, Šator, Raduša, Ljubuša, Vran i Čvrsnica u Bosni i Hercegovini. Tako su gradovi Livno, Tomislavgrad, Kupres i pripadajuća im naselja uključeni na slivno područje rijeke Cetine.



Slika 1. Kartogram sliva rijeke Cetine (preuzeto iz GRAĐEVINAR (2007) 59;3

Vode sa sliva rijeke Cetine i njezinih pritoka u Sinjskom polju opskrbljuju vodovodnom vodom ukupno 405.000 stanovnika SDŽ (89% cijelog stanovništva).

Izvan sliva Cetine su područja Imotske krajine, Grada Vrgorca, otoka Visa, općine Marina i općine Gradac.

RS Omiš-Brač-Hvar-Šolta-Vis (Vis još nije priključen) i RS Makarsko primorje jedini imaju uređaje za kondicioniranje i popravak vode (UKPV): UKPV „Zagrad“ za Omiš-Brač-Hvar-Šolta i UKPV „Zadvarje“ za Makarsko primorje, te u zagorskom dijelu općine Šestanovac i Zadvarje.

U UKPV-ima provodi se potpuna higijenska obrada voda: bistrenje flokulacijom-taloženjem, filtriranje kroz sustav pješčanih filtera i završna dezinfekcija vode natirum hipokloritom automatskim plinskim klorinatorom.

Svi ostali sustavi i vodovodi imaju vodozahvate na izvorima krških rijeka ili vodozahvata podzemnih akumulacija. Od higijenske obrade voda provodi se samo dezinfekcija automatskim plinskim klorinatorima (24).

Broj stanovnika na pojedinim sustavima vodoopskrbe bit će prikazan u tablicama poglavlja rezultati.

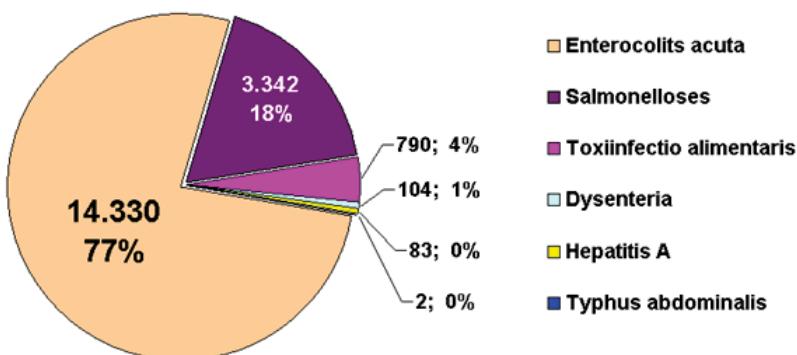
U radu je korištena komparativna epidemiološka metoda.

Značajnost razlika izračunata je programom STATISTICA 7. Značajnost je iskazana χ^2 -testom na razini $P<0,001$. Također je korišten Student t-test i 95% CI (Confidance Interval) software programa ANOVA.

REZULTATI

Od ukupno 18.651 prijava u petnaestgodišnjem razdoblju 1996.-2010. godine za šest skupina akutnih crijevnih zaraznih bolesti (ACZB) na skupinu Enterocolitis acuta (Gastroenteritis ac., Dijarealni sindrom, Proljev) odnosi se najveći dio prijava ACZB u SDŽ – četiri petine, dok se nešto manje od jedne petine odnosi na skupinu Salmonelloses, a svega 5% na preostale četiri skupine: Toxiinfectio alimentaris (4,2%), Dysenteria (0,5%), Hepatitis A (0,4%) i Trbušni tifus sve ga 2 prijave.

Svi bolesnici od Dizenterije, Hepatitisa A i Trbušnog tifusa su uneseni (importirani) oblici bolesti (Slika 2.).

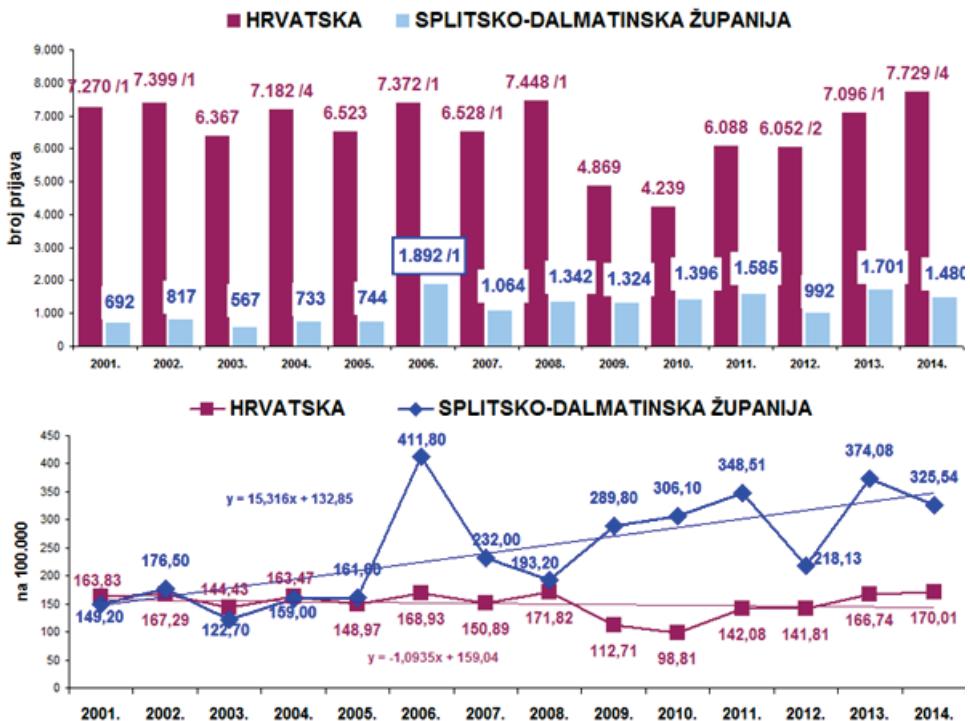


Slika 2. Broj prijava Akutnih crijevnih zaraznih bolesti (ACZB) u Splitsko-dalmatinskoj županiji (SDŽ), 1996.-2010.

Prvih 14 godina trećeg milenijuma broj prijava Enterocolitis ac. u Republici Hrvatskoj ima trend pada unatoč razvidnom stalnom povećanju broja prijava od 2010. godine. Odjeljen od broja prijava upisan je broj smrtnih ishoda koji je u čitavom razdoblju iznosio 16 umrlih.

Za razliku od R. Hrvatske broj prijava Enterocolitis ac. u SDŽ ima trend porasta osobito od 2006. godine koja je bila epidemija godina na gotovo čitavom području SDŽ.

Stope prijava Enterocolitisa na 100.000 stanovnika u razdoblju 2001.-2005. godine su podjednake u Hrvatskoj i SDŽ. Nakon 2006. godine stope rasta prijava u SDŽ imaju stalni uzlazni trend izraženiji od trenda u R. Hrvatskoj (Slika 3.).



Slika 3. Broj prijava Enterocolitis ac. u R. Hrvatskoj i Splitsko-dalmatinskoj županiji (gore) i stope prijava Enterocolitis ac. na 100.000 stanovnika (dolje), 2001.-2014.
/broj umrlih

U razdoblju 2001.-2011. godine na području koje pokriva 9 analiziranih vodoopskrbnih sustava (VOS) živjelo je prosječno godišnje 454.244 stanovnika SDŽ-a.

VOS svrstani po veličini prosječne godišnje stope pobola od ACZB bez Salmoneloza na 100.000 stanovnika za razdoblje 2001.-2011. godina pokazuju da je najviša stopa pobola bila na području VS Općine Marina (756,93/100.000), a najniža na području RS Makarsko primorje (66,76/100.000) što je više nego deseterostruka razlika.

Godišnje prosječne stope pobola iznad prosjeka SDŽ za sve VOS (252,82/100.000) imaju stanovnici s područja VS Grada Vrgorca, VS Grada Vrlike te stanovnici s područja najvećeg po broju stanovnika RS SSKT. Stopa pobola područja RS OBHŠV je u prosjeku svih VOS, dok manje stope pobola od prosjeka imaju stanovnici GV Sinjska krajina, GV Imotska krajina i VS otoka Visa.

Godišnji prosjek broja prijava ACZB za sve VOS za razdoblje 2001.-2005. bio je 769 prijava (95% CI 644,4-892,8). U 2006. godini broja prijava povećao se više nego dvostruko od dotadašnjeg prosjeka – 1.964 prijava. U razdoblju 2007.-2011. godine prosjek broja prijava iznosi 1.365 (95% CI 1141,6-1588,4) što je statistički izrazito značajna razlika: t-test_(8ss)=6,477 ($p<0,0002$) (tablica 1).

Tablica 1. Prijavljene Akutne crijevne zarazne bolesti bez Salmoneloza prema Prijavama zaraznih bolesti stanovnika Splitsko-dalmatinske županije po vodoopskrbnim sustavima u razdoblju 2001.- 2011. godina

Vodoopskrbni sustav (prosj. broj stanovnika)	2001.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	10.	2011.	2001.-2011. na 100.000
VS Marina (4.684)	31	11	24	21	47	62	30	50	36	29	49	390 756,93
VS Vrgorac (7.047)	12	18	23	38	10	50	44	87	78	91	51	502 647,60
VS Vrlika (2.432)	4	3	13	19	7	10	17	8	7	5	15	108 403,71
RS SSKT (270.474)	531	656	422	544	569	1350	666	817	807	792	803	7957 267,44
RS OBHŠV (48.507)	44	46	33	56	39	272	174	161	109	153	226	1313 246,08
VS otoka Visa (3.533)	0	10	0	4	6	8	2	1	8	6	48	93 239,30
GV Imotska krajina (31.614)	52	55	53	45	45	45	49	108	110	111	142	815 234,36
GV Sinjska krajina (59.924)	71	73	41	57	51	138	78	129	169	205	251	1263 191,61
RS Makarsko primorje (26.009)	9	18	5	14	13	29	36	16	24	12	15	191 66,76
Svi VOS (454.224)	754	890	614	798	787	1964	1096	1377	1348	1404	1600	12632 252,82

IZVOR PODATAKA: Prijava zaraznih bolesti u Nastavnom zavodu za javno zdravstvo SDŽ
KRATICE: VS - Vodoopskrbni sustav; RS SSKT - Regionalni sustav Split-Solin-Kaštela-Trogir; RS OBHŠV - Regionalni sustav Omiš-Brač-Hvar-Šolta-Vis; GV - Grupni vodovod

Regionalni sustavi vodoopskrbe (RS) i grupni vodovodi (GV) opskrbaju vodovodnom vodom područja s preko 10.000 stanovnika, dok Vodoopskrbni sustavi (VS) Općine Marina, Grada Vrgorca, Grada Vrlike i otoka Visa opskrbaju područja s manje od 10.000 stanovnika.

Vodoopskrbni sustavi (VOS) s više od 10.000 stanovnika, opskrbaju 436.528 stanovnika ili 96% ukupnog broja stanovnika sa svih VOS-a. Stanovnici na područjima VOS ispod 10.000 stanovnika imaju dvostruko veću prosječnu godišnju

stopu pobola od ACZB bez Salmoneloza (561,5/100.000 vs. 240,31/100.000) u razdoblju 2001.-2011. godina. Statistička značajnost razlika je ekstremna $\chi^2=783,9$ ($p<0,0001$) (tablica 2).

Tablica 2. Prijavljene Akutne crijevne zarazne bolesti bez Salmoneloza u Splitsko-dalmatinskoj županiji prema veličini vodoopskrbnih sustava (VOS) u razdoblju 2001.-2011. godina

Vodoopskrbni sustav	2001.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	10.	11.	2001.-2011.	na 100.000
VOS preko 10.000 stanovnika (436.528)	707	848	554	716	717	1834	1003	1231	1219	1273	1437	11539	240,31
VOS ispod 10.000 stanovnika (17.696)	47	42	60	82	70	130	93	146	129	131	163	1093	561,50
Svi VOS (454.224)	754	890	614	798	787	1964	1096	1377	1348	1404	1600	12632	252,82

Vodovodi RS Omiš-Brač-Hvar-Šolta i RS Makarsko primorje s uređajima za kondicioniranje i popravku voda (UKPV) koji koriste površinsku vodu rijeke Cetine s vodozahvata u Zagradu i Zadvarju imaju statistički značajno manju stopu prijava ACZB od područja vodovoda bez UKPV 147,09/100.000 vs. 252,00/100.000 ($\chi^2=278,8$; $p<0,0001$). Statistička značajnost razlika između samih RS OMIŠ-Brač-Hvar-Šolta 202,14/100.000 u odnosu na RS Makarsko primorje 66,75/100.000 također je izrazito značajna ($\chi^2=214,07$; $p<0,0001$).

Između vodovoda bez UKPV s vodozahvatima s izvora rijeka RS Split-Solin-Kaštela-Trogir, GV Imotske krajine i GV Sinj nema statistički značajne razlike broja prijava ACZB za razdoblje 2001. do 2011. godina ($\chi^2_{(2\ ss)}=11,5$; $p>0,001$) (tablica 3.).

Tablica 3. Prijavljene Akutne crijevne zarazne bolesti bez Salmoneloza na području VOS s više od 10.000 stanovnika s uređajima i bez uređaja za kondicioniranje i popravku voda za piće (UKPV) u Splitsko-dalmatinskoj županiji u razdoblju 2001.-2011. godina

Vodoopskrbni sustav (prosj. broj stanovnika)	2001.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	10.	11.	2001.-2011.	na 100.000
RS OBHSV (37.958)	39	37	26	51	38	211	128	90	60	52	112	844	202,14
RS Makarsko primorje (26.009)	9	18	5	14	13	29	36	16	24	12	15	191	66,76
Vodovodi s UKPV (63.967)	48	55	31	65	51	240	164	106	84	64	127	1035	147,09
RS SSKT (270.474)	531	656	422	544	569	1350	666	817	807	792	803	7957	267,44
GV Imotski (31.614)	52	55	53	45	45	45	49	108	110	111	142	815	234,36

GV Sinj (59.924)	71	73	41	57	51	138	78	129	169	205	251	1263	191,61
Vodovodi bez UKPV (362.012)	654	784	516	646	665	1533	793	1054	1086	1108	1196	10035	252,00

Regionalni sustav vodoopskrbe Omiš-Brač-Hvar-Šolta-Vis razdijeljen je u tri dijela: kopneni dio za Grad Omiš i Općinu Dugi Rat, jedan otočni dio za otoke Brač i Šoltu i drugi otočni dio za otok Hvar.

Stope pobola od ACZB za razdoblje 2001.-2011. godine između kopnenog dijela RS OBHŠV (206,45/100.000) i otočnog dijela RS OBHŠV samo za otok Brač (195,55/100.000) su statistički bez značajnosti razlika ($\chi^2=0,51; p>0,05$).

Hvarski dio RS OBHŠ ima dvostruko veće stope pobola 404,17/100.000 od dijela za otoke Brač i Šolta kao i od kopnenog dijela RS OBHŠ ($\chi^2(2ss)=155,3; p<0,0001$).

Na koprenom dijelu Regionalnog sustava Omiš-Brač-Hvar-Šolta statistički značajna je razlika u broju prijava ACZB bez Salmoneloza između dijela za Grad Omiš 232,49/100.000 i dijela za Općinu Dugi Rat 151,56/100.000 ($\chi^2=0,51; p>0,05$). Grad Omiš u svom sastavu ima 3.726 (25%) stanovnika u naseljima koji imaju vodoopskrbu iz autonomnih VOS ili su bez javne vodoopskrbe. Kako se prijave ACZB prikazuju samo na razini gradova i općina, a ne naselja, tako su prijave pobola iz ovih naselja uključene u prijave Grada Omiša te one utječu na povećanje stopa pobola u samom naselju Omiš. Stoga stopu pobola ACZB Općine Dugi Rat 151,56/100.000 treba uzeti reprezentativnom za kopneni dio RS OBHSV umjesto stope 206,45/100.000 (Tablica 4.).

Tablica 4. Prijavljene Akutne crijevne zarazne bolesti bez Salmoneloza na područjima Regionalnog sustava vodoopskrbe Omiš-Hvar-Brač-Šolta-Vis (RS OBHŠV) u razdoblju 2001.-2011. godina

Sustav vodoopskrbe (broj stanovnika)	2001.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	10.	11.	2001.- 2011.	na 100.000	
OMIŠ (15.172)	25	28	15	23	26	79	55	57	23	22	35	388	232,49	
Dugi Rat (7.198)	4	6	8	16	5	26	21	10	3	10	11	120	151,56	
RS OBHŠV - kopneni dio (22.370)	29	34	23	39	31	105	76	67	26	32	46	508	206,45	
SUPETAR -Sutivan (4.785)	1			6	4	77	16	11	9	12	35	171	324,88	
Šolta (1.577)		1	1	3	2	11	4	1	18	3	0	44	253,65	
Postira (1.554)		1				10	9	6	2	1	8	37	216,45	
Milna (1.055)				1	1	1	6	1	1	2	3	16	137,87	
Nerežića (866)						3	3	2				4	12	125,97
Pučišća (2.207)	8	1	1	1		3	1	1	2			5	23	94,74
Bol (1.653)			1			1	9	1	1			4	17	93,49
Selca (1.891)	1			1			4		1	2	7	16	76,92	
RS OBHŠV Otoči BRAČ i ŠOLTA (15.588)	10	3	3	12	7	106	52	23	34	20	66	336	195,55	
HVAR (4.189)	2	2	5	1		26	34	35	32	36	54	227	492,63	

STARI GRAD (2.752)	3	3	2	1		29	9	31	8	17	19	122	403,01
Jelsa (3.608)		4		3	1	6	3	5	9	48	41	120	302,36
RS OBHSV – Otok HVAR (10.549)	5	9	7	5	1	61	46	71	49	101	114	469	404,17
RS OBHSV ukupno kopno i otoci (48.507)	44	46	33	56	39	272	174	161	109	153	226	1313	246,08

Regionalni sustav vodoopskrbe Split-Solin-Kaštela-Trogir (RS SSKT) raščlanjen u dva kraka pokazuje enormno statistički značajnu razliku u broju prijava ACZB bez Salmoneloza između zapadnog kraka za Grad Kaštela, Grad Trogir, općine Seget i Okrug 576,19/100.000 i između južnog kraka za gradove Split i Solin te Općinu Podstrana 202,86/100.000 ($\chi^2_{(1ss)}=2936,6; p<0,0001$).

Između gradova Split i Solin i Općine Podstrana nema statističke značajnosti razlike pobola od ACZB ($\chi^2_{(2ss)}=6,69; p>0,001$).

Između Grada Trogira i općina Okrug i Seget razlike su statistički značajne no nisu tako izrazite kao razlike između Grada Kaštela 390,8/100.000 i Grada Trogira 1078,89/100.000 ($\chi^2_{(1ss)}=879,67; p<0,0001$) (tablica 5.).

Tablica 5. Prijavljene Akutne crijevne zarazne bolesti bez Salmoneloza za područja Regionalnog sustava vodoopskrbe Split-Solin-Kaštela-Trogir (RS SSKT) u razdoblju 2001.-2011. godina

Sustav vodoopskrbe (Broj stanovnika)	2001.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	10.	11.	2001.-2011.	na 100.000
TROGIR (13.128)	153	144	139	149	165	274	95	144	109	83	103	1558	1078,89
Okrug (3.219)				(prikazano u sastavu Grada Trogira)		39	30	57	4	5	16	151	781,82
Seget (4.684)	34	29	22	33	34	89	30	32	26	22	13	364	677,54
KAŠTELA (36.289)	76	130	49	75	116	229	132	112	183	231	227	1560	390,80
RS SSKT- zapadni krak (57.320)	263	303	210	257	315	631	287	345	322	341	359	3633	576,19
Podstrana (8.222)	5	7	3	10	12	52	24	26	16	15	14	184	203,45
SOLIN (21.489)	37	32	25	28	20	106	48	48	30	58	45	477	201,71
SPLIT (183.443)	226	314	184	249	222	561	307	398	439	378	385	3663	181,53
RS SSKT- južni krak (213.154)	268	353	212	287	254	719	379	472	485	451	444	4324	202,86

U sastavu Grupnog vodovoda Sinjska krajina kojeg čine tri podsustava sa tri vodozahvata izvora pritoka rijeke Cetine: Šilovka, Kosinac i Ruda nema statistički značajnih razlika prijava ACZB.

Jedina statistički značajna razlika je veći broj prijava s područja Solinska zagora koju čine općine Dugopolje, Klis, Muć i Lećevica (tablica 6.).

Tablica 6. Prijavljene Akutne crijevne zarazne bolesti bez Salmoneloza na područjima s vodoopskrbom iz Grupnog vodovoda (GV) Sinjska krajina u razdoblju 2001.-2011. godina

Sustav vodoopskrbe (broj stanovnika)	2001.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	10.	11.	2001.-2011.	na 100.000
GV Sinjske krajine Podstav Šilovka Hrvace (3.885)	1	1		1	4	6	1	15	18	12	18	77	180,18
GV Sinjske krajine Podstav Kosinac SINJ (25.103)	34	42	19	22	30	42	22	28	80	102	111	532	192,66
Solinska zagora (12.464)	14	11	10	22	6	57	36	60	34	56	71	377	302,47
Dicmo (2739)	3	3	2		1	9	3	8	5	7	6	47	156,00
TRILJ (10.108)	12	15	5	11	9	17	7	14	23	18	26	157	141,20
Otok (5.625)	7	1	5	1	1	7	9	4	9	10	19	73	117,98
GV Sinjske krajine Podstav Ruda (30.936)	36	30	22	34	17	90	55	86	71	91	122	654	192,19
Grupni vodovod Sinjske krajine Ukupno (59.924)	71	73	41	57	51	138	78	129	169	205	251	1263	191,61

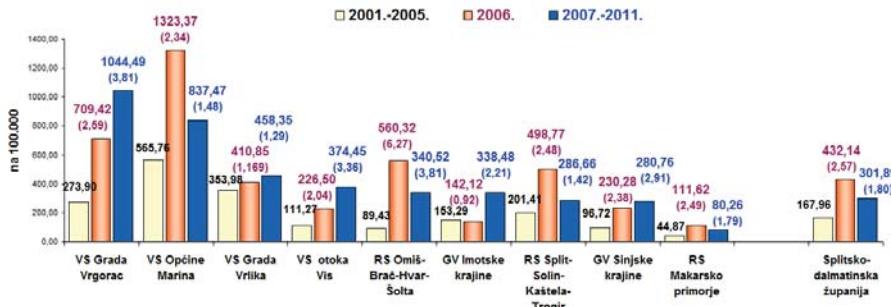
Izrazito povećanje broja prijava ACZB bez Salmoneloza u epidemijskoj 2006. godini u čitavoj Splitsko-dalmatinskoj županiji (257% iznad prosjeka prethodnog petogodišnjeg razdoblja 2001.-2005. godina), zahtjeva posebne analize za razdoblja: 2001.-2005. godina; 2006. godina; 2007.-2011. godine.

U razdoblju 2001.-2005. godine najveće prosječne godišnje stope pobola od ACZB imali su stanovnici s VS Marina (565,76/100.000), VS Grada Vrlika (353,98/100.000), VS Grada Vrgorca (273,9/100.000) i stanovnici Splita, Solina, Kaštela i Trogira s Regionalnog sustava SSKT (201,43/100.000). Manje stope od prosjeka SDŽ (167,96/100.000) imali su stanovnici GV Imotska krajina (153,29/100.000), VS otoka Vis (111,27/100.000), GV Sinjske krajine (96,72/100.000), RS Omiš-Brač-Hvar-Šolta (89,43/100.000) i RS Makarsko primorje (44,87/100.000). Na području GV Imotska krajina, bilježi se pad stope pobola od ACZB bez Salmoneloza (0,92 puta) u odnosu na godišnji prosjek razdoblja 2001.-2005. godina.

U epidemijskoj 2006. godini najveće povećanje stopa pobola imali su stanovnici RS Omiš-Brač-Hvar-Šolta (6,3 puta), VS Vrgorac (2,6 puta), RS SSKT (2,5 puta), RS Makarskog primorja (2,5 puta), GV Sinjska krajina (2,4 puta), VS Marina (2,3 puta), VS otoka Visa (2,04 puta) i VS Vrlika (1,2 puta) i GV Imotske krajine (0,9 puta).

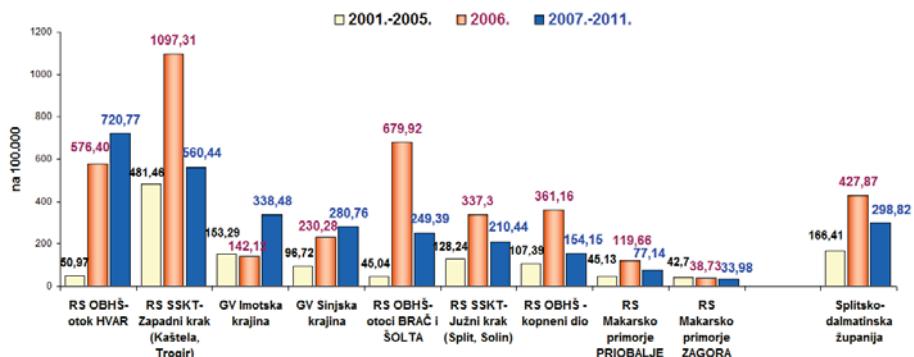
Prosječne godišnje stope pobola od ACZB po prijavama poslije 2006. godine u petogodišnjem razdoblju 2007. do 2011. godine na svim vodoopskrbnim sustavima su statistički značajno više od petogodišnjeg razdoblja prije 2006. godine, 2001. do 2005.

godina, osim kod stanovnika na području vodoopskrbe iz VS Općine Marine, VS Grada Vrlike i RS Makarsko primorje. Povećanje pobola za stanovnike čitave Splitsko-dalmatinske županije sa 167,96/100.000 na 301,89/100.000 također je statistički značajno ($\chi^2=173,5$; $P < 0,0001$) (Slika 4).



Slika 4. Prosječne godišnje stope pobola od ACZB bez Salmoneloza prema prijavama zaraznih bolesti po vodoopskrbnim objektima u Splitsko-dalmatinskoj županiji razvrstanim prema pobolu u razdoblju 2007.-2011. godine. () povećanje u odnosu na prosjek iz razdoblja 2001.-2005. godine

Najveće prosječne godišnje stope pobola od ACZB bez Salmoneloza kod stanovništva s područja vodoopskrbe iz regionalnih sustava (RS) i grupnih vodovoda (GV) u epidemijskoj 2006. godini imali su stanovnici na područjima vodoopskrbe sa RS OBHŠ otok Hvar i RS SSKT-zapadni krak za Grad Kaštela, Grad Trogir, općine Seget i Okrug, a koji su te stope zadržali tijekom petogodišnjeg razdoblja 2007.-2011. godine. Epidemijski skok stopa pobola od ACZB bez Salmoneloza u 2006. godini za otoke Brač i Šolta ne nastavlja se u razdoblju 2007.-2011. godine kao kod stanovnika otoka Hvara. Najmanje stope pobola od ACZB bez Salmoneloza u istim vremenskim razdobljima ispod županijskih prosjeka imaju stanovnici područja s RS Makarskog primorja i kopnenog kraka RS OBHŠ za sva razdoblja (Slika 5.).



Slika 5. Prosječne godišnje stope pobola od ACZB bez Salmoneloza prema prijavama zaraznih bolesti po dijelovima regionalnih sustava (RS) i grupnim vodovodima (GV) u Splitsko-dalmatinskoj županiji razvrstanim prema pobolu u razdoblju 2007.-2011. godine. **SISGURNOST / RIZICI VODOOPSKRBE PO VODOOPSKRBNIM SUSTAVIMA ZA RAZDOBLJE 2007. - 2011. GODINE**

Najmanju prosječnu stopu prijava ACZB bez Salmoneloza, tj. najmanji rizik za prijenos crijevnih zaraznih bolesti vodom za piće, imaju regionalni sustavi vodoopskrbe Makarsko primorje i Omiš-Brač-Šolta bez dijela za otok Hvar. Ta dva regionalna sustava imaju uređaje za kondicioniranje i popravku vode (UKPV).

Učinak UKPV za ogrank RS OBHŠV za otok Hvar iz istog vodozahvata Zagrad ne uočava se kod stanovnika otoka Hvara. Prosječna godišnja stopa je tri puta veća od stope pobola kod stanovnika otoka Brač i Šolta. RS OBHŠ - ogrank za otok Hvar je na visokom trećem mjestu rizičnosti, odmah iza malih vodoopskrbnih sustava Grada Vrgorca i Općine Marina.

Stanovnici RS SSKT zapadni krak za Kaštela i Trogir koriste vodu istog vodozahvata s izvora rijeke Jadro kao i stanovnici južnog kraka iz gradova Split i Solin, te općine Podstrana. Prosječna godišnja stopa pobola je i ovdje tri puta veća kod stanovnika zapadnog kraka (vidi tablicu 5.). Najveći rizik imaju stanovnici na područjima malih vodovoda bez UKPV: Grad Vrgorac i Općina Marina. Kod njih su rizici 8 do 10 puta veći od rizika stanovnika na području RS Makarsko primorje.

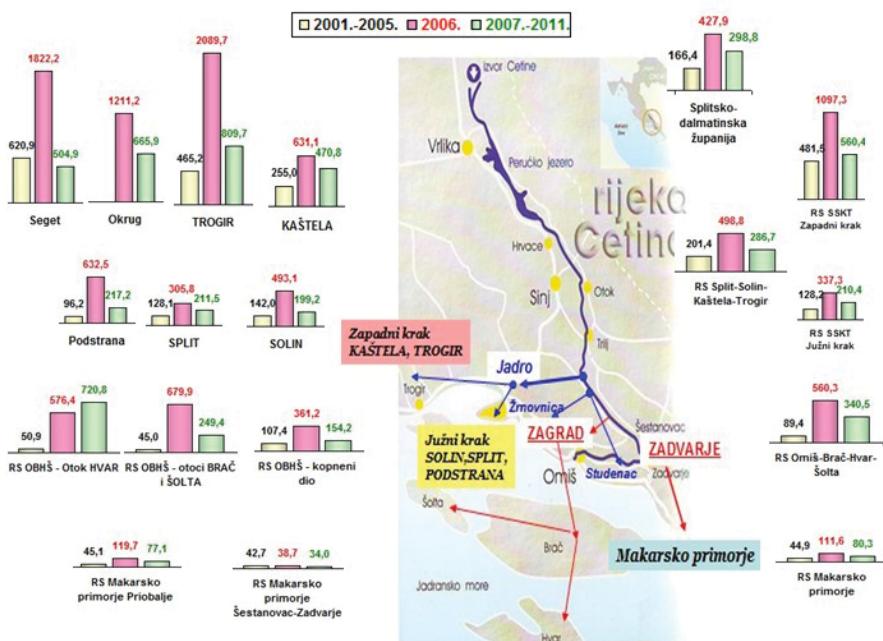
Tablica 7. Vodoopskrbni sustavi Splitsko-dalmatinske županije i prosječne godišnje stope pobola
od ACZB bez Salmoneloza pripadajućih područja vodoopskrbe u razdoblju 2007.-2011. godina

VODOOPSKRBNI SUSTAVI		Prosječna godišnja stopa pobola na 100.000 stanovnika
1.	Regionalni sustav Makarsko primorje	80,26
2.	Regionalni sustav Omiš-Brač-Hvar-Šolta (kopneni dio)	154,15
3.	Regionalni sustav Split-Solin-Kaštela-Trogir (južni krak)	210,44
4.	Regionalni sustav Omiš-Brač-Hvar-Šolta (otoci Brač i Šolta)	249,39
5.	Grupni vodovod Sinjska krajina	280,76
6.	Grupni vodovod Imotska krajina	338,48
7.	Vodoopskrbni sustav otoka Visa	374,75
8.	Vodoopskrbni sustav Grada Vrlika	458,35
9.	Regionalni sustav Split-Solin-Kaštela-Trogir (zapadni krak)	560,44
10.	Regionalni sustav Omiš-Brač-Hvar-Šolta (otok Hvar)	720,77
11.	Vodoopskrbni sustav Općine Marina	837,47
12.	Vodoopskrbni sustav Grada Vrgorca	1044,49

Na kartogramskom prikazu prosječnih godišnjih stope pobola od ACZB bez Salmoneloza u prije epidemijском razdoblju 2001.-2005. godine, epidemijskoj 2006.

godini i poslije epidemiskom razdoblju 2007.-2011. godine predviđeno je stanje na pojedinim dijelovima vodoopskrbnih sustava (lijeva strana kartograma) i iz regionalnih sustava vodoopskrbe (desna strana kartograma).

Premda je kod RS SSKT zajednički vodozahvat rijeke Jadro razlike su po dijelovima gotovo drastične. Isto tako kod RS OBHŠ ista je voda iz površinskog zahvata rijeke Cetine, a razlike u stopama pobola su velike (Slika 6).



Slika 6. Kartogramski prikaz stopa pobola od Akutnih crijevnih zaraznih bolesti bez Salmoneloza prema prijavama zaraznih bolesti u Splitsko-dalmatinskoj županiji 2001.-2011. godine po regionalnim sustavima vodoopskrbe sa vodozahvatima u slivu rijeke Cetine (crvene strelice – zahvati površinske vode Cetine, plave strelice – dokazana izravna komunikacija podzemnim privilegiranim pukotinskim putevima u kršu)

HIDRIČNE EPIDEMIJE AKUTNIH CRIJEVNIH ZARAZNIH BOLESTI

Na području SDŽ od 1945. do 2015. godine zabilježeno je ukupno 37 hidričnih epidemija ACZB. Kroz 24 godine od 1945.-1969. godine bilo je ukupno 25 epidemija trbušnog tifusa i dizenterije. Epidemije dječje zarazne žutice (Hepatitis A) nisu uvrštene jer su bile uobičajena svakogodišnja pojava sve do 1988. godine od kada više u SDŽ nije zabilježena nijedna epidemija.

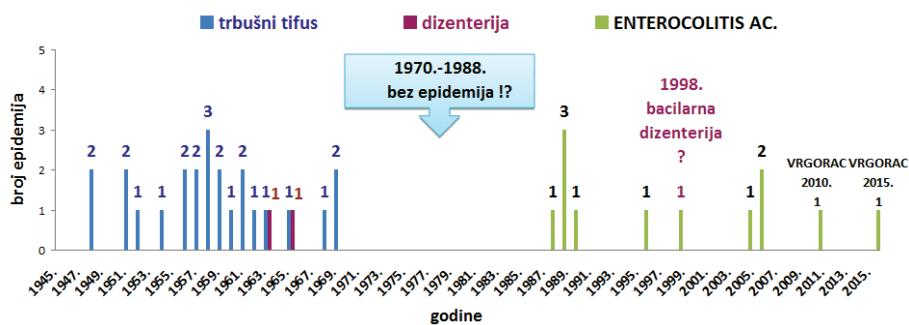
U razdoblju 1970.-1987. nije zabilježena nijedna epidemija ACZB !?

Od 1988. do 2015. zabilježeno je 12 hidričnih epidemija (11 epidemija akutnog enterokolitisa i jedna epidemija dizenterije).

Pored značajnog smanjenja broja epidemija važno je uočiti izmijenjenu strukturu epidemija po vrsti uzročnika. U odnosu na razdoblje poslijе 2. svjetskog rata kada su prevladavale klasične crijevne antroponeze trbušni tifus, dizenterija i hepatitis A sada su uzrok epidemijama virusne infekcije koje uzrokuju nespecifičnu kliničku sliku akutnog enterokolitisa.

Jedina epidemija dizenterije 1998. godine bila je epidemija unesena povrćem i voćem iz istočnih dijelova ex. Jugoslavije koja se manifestirala međusobno nepovezanim točkastom pojavnosću u više mjesta SDŽ i susjednih područja u BiH.

Posljednjih deset godina od 2006. godine jedine dvije hidrične epidemije ekutnog enterokolitisa zabilježene su na vodoopskrbnom sustavu Grada Vrgorca 2010. i 2015. godine (Slika 7.).



Slika 7. Epidemije Trbušnog tifusa, Dizenterije i Enterocolitisa ac. u Splitsko-dalmatinskoj županiji

RASPRAVA

Ovom retrospektivnom studijom istraženo je kretanje ACZB bez Salmoneloza na početku trećeg milenijuma u Splitsko-dalmatinskoj županiji po vodoopskrbnim sustavima (VOS).

ACZB trajni su predmet istraživanja i praćenja javnog zdravstva diljem svijeta. Razvijene zemlje imaju veće potrebe praćenja ACZB s putem prijenosa preko hrane, dok je u zemljama u razvoju prioritet u nadzoru nad ACZB s putem prijenosa vodom za piće. Međutim, niti razvijene zemlje nisu otklonile rizike prijenosa ACZB putem vode za piće. U posljednje vrijeme sve češće se i kod njih registriraju hidrične epidemije, ali sa manjim brojem oboljelih (1,25). To više nisu epidemije klasičnih crijevnih zaraznih bolesti poput trbušnog tifusa, bacilarne dizenterije, hepatitisa A, već su to epidemije akutnog gastroenteritisa, akutnog enterokolitisa (dijarealnog sindroma, proljeva) najčešće izazvane virusima, protozoima Cryptosporidiumima, Giardia lambliom i drugim novim patogenim mikroorganizmima koji su ranije smatrani fakultativnim patogenima (*Pseudomonas spp.*, *Aeromonas hydrophila* itd.) (3,4).

Zbog blažih oblika kliničkih slika bolesti i zbog ne više tako nagle pojave velikog broja oboljelih hidrične epidemije se teže zamjećuju te shodno tome izostaju pravovremeni protuepidemijski izvidi i epidemiološke obrade istih. U nedavnoj prošlosti ove epidemije imale su skupni naziv vodena bolest. Zbog kratkoće inkubacije od samo 1-3 dana one su prethodile epidemijama bolesti duljih inkubacija poput dizenterije, trbušnog tifusa i hepatitisa A. Epidemije „vodnih bolesti“ smatralo se usputnjima, uzgrednim, gotovo nebitnim epidemijskim incidentima koji su samo upotpunjivali sliku politipije uzročnika kao krucijalni dokaz hidrične epidemije.

Treba imati na umu da se virusi izvan živih organizama mogu dugo održati u okolišu ali se bez žive eukariotske stанице ne mogu razmnožavati. Za razliku od bakterija njihov broj izlučen u okoliš može se vremenom samo smanjiti. Infekcija preko vode za ljudsko korištenje nastaje kada se za virus prikladnim načinom unese u organizam infektivna doza, primjerice pijenjem vode na prazan želudac kada popivena voda u roku manjem od dvije sekunde dolazi u tanko crijevo. Svi koji su pili vodu iz istog izvora ne moraju se inficirati već samo oni koji su u svojoj popivenoj količini uspjeli unijeti virus do enterocita u crijevima – ulazno mjesto infekcije. Stoga virusne hidrične epidemije nemaju kao bakterijske naglašenu naglu pojavnost velikog broja oboljelih u kratkom vremenu već imaju krivulju produljenog tijeka bez istaknutog epidemijskog vala. U ljetnim sušnim razdobljima kada se zbog manjih količina površinske i izvorske vode

događa hidrokonzentracija virusa infekcije su češće i većeg broja oboljelih što je objašnjenje veće ljetne sezonske raspoloženosti oboljelih.

Nedostatak ove studije sadržan je u činjenici da sve promatrane ACZB bez Salmoneloza nisu s hidričnim putem prijenosa. Značajno veći dio njih ima prevladavajući put prijenosa vodom za ljudsku potrošnju naročito one virusne etiologije. Kako kliničke dijagnoze većine akutnih crijevnih zaraznih bolesti, naročito akutni enterokolitis ili akutni gastroenteritis, u sebi ne sadržavaju niti uzročnika niti mehanizam nastanka infekcije tako je onome tko nije anketirao/intervjuirao bolesnika nemoguće temeljem same dijagnoze odrediti put nastanka infekcije. Budući je ovo sveprisutna pojava koja je gotovo postala pravilo tada se ovaj nedostatak može smatrati sustavnom grješkom bez bitnog utjecaja na rezultate i zaključak rada. Uostalom, ocjena ukupne sanitacije nekog područja u nizu je sprezi je s pojavnosću ACZB koja je u zavisnosti o kvaliteti vodoopskrbe (količina i kakvoća zdravstveno ispravne vode za ljudsku potrošnju) te kvaliteti pročišćavanja i uklanjanja otpadnih i fekalnih voda kao mogućim ugrozama površinskih i podzemnih voda u kršu pa tako i vodozahvata voda za ljudsku potrošnju i vodnih rekreativnih površina (26).

Salmonelozna trovanja hranom su klasični predstavnik alimentarnog puta prijenosa isključena su iz ovih razmatranja. Za sve ostale uzročnike ACZB može se reći da im put prijenosa vodom za ljudsku potrošnju nije isključiv, ali je prevladavajući.

Iz rezultata ovog rada, prvo što se uočava u jedanaestgodишnjem razdoblju 2001.-2011. godine je epidemija pojavnost ACZB bez Salmoneloza 2006. godine i to značajno iznad prethodnog petogodišnjeg prosjeka. Povećane stope incidencije ACZB bez Salmoneloza na pojedinim vodoopskrbnim sustavima (VOS) bila su i preko 6 puta (RS OBHŠ) osobito ogrank za otroke Brač i Hvar, a za cijelu SDŽ povećanje je bilo 2,6 puta (Slike 4. i 5.).

Prema pravilima epidemiološke struke kod svake epidemije neophodno je prikazati stanje kretanja bolesti u prijeepidemijskom i poslijepidemijskom razdoblju.

Prema incidenciji ACZB bez Salmoneloza iz prijava zaraznih bolesti u razdoblju 2001.-2005. godine najmanje stope imaju stanovnici s velikim VOS s preko 10.000 stanovnika koji imaju uređaje za kondicioniranje i popravku voda (UKPV): RS Makarsko primorje i RS Omiš-Brač-Hvar-Šolta, a najveće stope prijava imaju stanovnici malih VOS s ispod 10.000 stanovnika: VS Vrgorac, VS Marine i VS Vrlike.

Epidemijski incident porasta broja ACZB 2006. godine najviše se zamijetio na VOS koji su imali najmanje stope incidencije u prijeepidemijskom razdoblju kao što je to kod

RS Omiš-Brač-Hvar-Šolta. Stanovnici GV Imotska krajina imali su 2006. godine manju incidenciju nego u razdoblju 2001.-2005. godina. Sva turistička područja SDŽ osim Makarskog primorja imala su izraženiji porast infekcija nego neturistička područja.

U poslijepidemijskom razdoblju 2007.-2011. godine prosječne godišnje stope incidencije ACZB u odnosu na prijeepidemijsko razdoblje 2001.-2005. godine su veće na svim VOS i u cijeloj SDŽ. Najveće povećanje je na dijelu RS OBHŠ za otok Hvar i VS Grada Vrgorca. Unatoč visokim stopama incidencije kod stanovnika VS Marine i zapadnog kraka RS SSKT koje su dvostruko veće od županijskog prosjeka povećanje nije toliko značajno kao na drugim VOS. Obrazloženje zašto ta razlika nije izrazitija je jednostavno. Grad Kaštela, Grad Trogir i Općina Marina od prije su visoko endemična područja ACZB te se epidemisko povećanje nije moglo ispoljiti jednakim intenzitetom kao u neendemičnim područjima.

Uspoređene ukupne prosječne stope pobola od ACZB bez Salmoneloza u prijeepidemijskom petogodišnjem razdoblju 2001.-2005. godina s poslijepidemijskim petogodišnjim razdobljem 2007.-2011. godina (Slike 4. i 5.) za svih 9 vodoopskrbnih sustava i njihovih dijelova pokazuju da najmanje stope pobola u oba razdoblja, a samim time i najmanji infektivni rizik od ACZB, imaju stanovnici na područjima velikih RS s UKPV: RS Makarsko primorje, RS OBHŠ kopneni dio i južni krak RS SSKT, dio RS OBHŠ za otoke Brač i Šoltu. GV Sinjska krajina i GV Imotska krajina nemaju značajnu razliku u odnosu na županijski prosjek. Značajno više stope od županijskog prosjeka imaju stanovnici na području zapadnog kraka RS SSKT (Kaštela, Trogir, Okrug i Seget) kao i stanovnici područja RS OBHŠ za otok Hvar. Najveći rizik imaju stanovnici s područja malih vodoopskrbnih sustava VS Grada Vrgorca i VS Općine Marina (Tablica 7.).

Neophodno je odgovoriti zašto su značajno različiti rizici vodoopskrbe za otok Hvar u odnosu na druge dijelove RS Omiš-Brač-Hvar-Šolta koji koriste istu higijenski obrađenu vodu s vodozahvata Cetine u Zagradu (Omiš) i zašto su razlike u rizicima vodoopskrbe između zapadnog kraka RS Split-Solin-Kaštela-Trogir u odnosu na južni krak istog RS koji imaju zajednički vodozahvat izvora rijeke Jadro.

Odgovor za otok Hvar je jednostavan. Otok Hvar pored vode iz RS OHBŠ koristi vodu iz vodozahvata na otoku Hvaru koji je bez zaštitne sanitарne zone podložan onečišćenjima otpadnih i fekalnih voda iz samog naselja koje nema kanalizacije (24).

Zapadni krak RS SSKT za Kaštela i Trogir u odnosu na južni krak tijekom ljetnog razdoblja zbog višestruko povećane potrošnje ima učestale prekide u vodoopskrbi kojih

južni krak za Split i Solin nema. Poznato je da su prekidi u vodoopskrbi veliki rizični čimbenik za zagađenje vodovodne mreže nečistoćama iz okoliša cijevi, a to se u pravilu i događa. Očekuje se da će prema projektu Kaštelanski zaljev izgradnja vodoospremnika dostačnih kapaciteta i izgradnja kanalizacijske mreže riješiti taj problem prekida u vodoopskrbi i tako izazvanih sekundarnih onečišćenja vode za ljudsku potrošnju.

Još je potrebno razjasniti zašto je nakon epidemije 2006. godine prisutan stalni porast prijava ACZB na zagorskom području SDŽ i zašto je broj prijava u Gradu Vrgorcu enormno porastao.

Grad Sinj i čitava Cetinska krajina praktično su područje bez klasičnih crijevnih antroponoza već tri desetljeća (27). Te bolesti iščezle su ugradnjom automatskih plinskih klorinatora na svim VOS. Međutim, dezinfekcija natrium hipokloritom nije svemoćna. Postoje mikroorganizmi otporni na dezinfekciju klorom. Kako na turistička područja tako i na područja Zagore koja sve više postaje turističko područje dolaze turisti, a i sami žitelji odlaze u turistička područja, sve više donose nove mikroorganizme uzročnike ACZB među kojima su i oni otporni na uobičajenu dezinfekciju klorom, primjerice NORO virusi i drugi iz skupine Picornaviridae. Za razliku od prošlosti kada su oboljevali samo turisti zbog susreta sa novom crijevnom florom svog turističkog odredišta, danas na turističkim područjima obolijeva i domicilno stanovništvo jer je i ono jednako izloženo rizicima infekcije novom crijevnom florom unesenom od strane turista. Ta nova epidemiološka osobina turističkih epidemija podjednakog obolijevanja turista i domicilnog stanovništva izraženija je u područjima neriješene dispozicije fekalnih izlučevina (28). Ovo je ujedno objašnjenje zašto postoji značajna razlika u pobolu stanovnika s RS Makarsko primorje i RS OBHV za kopneni dio. Cijelo Makarsko primorje ima odavno uređene komunalne objekte vodoopskrbe i dispozicije izlučevina u svim svojim naseljima zbog intenzivnog bavljenja turizmom što Omiš tek sada rješava. Kako je ranije navedeno Grad Omiš na svom području ima još dva lokalna mala vodoopskrbna objekta i naselja bez opskrbe vodovodnom vodom što nije slučaj na Makarskom primorju.

Porast turističkih crijevnih infekcija dijelom je uzrok porasta broja prijava ACZB i epidemija ACZB u Gradu Vrgorcu gdje su se u razmaku od pet godina dogodile dvije hidrične epidemije akutnog enterokolitisa 2010. i 2015. godine. U prvoj epidemiji kod oboljelih na jednom kraku vodovoda dokazan je novi tip uzročnika Norovirus, a u drugoj epidemiji kod oboljele djece dokazani su Rota virusi. Zbog neprovedbe viroloških pregleda voda nije isključeno da se u obje epidemije radilo o politipiji

uzročnika. Uzrok visokog rizika vodoopskrbe u Gradu Vrgorcu je u vodzahvatu bez ikakve sanitарne zaštite podložnom raznovrsnim onečišćenjima te u činjenici da VS Vrgorca nema automatskog plinskog klorinatora koji bi dokinuo propuste subjektivne prirode u redovitosti i dostatnosti dezinfekcije vode za ljudsku potrošnju. U takvim okolnostima rizik povećanih incidencija ACZB i novih epidemijskih incidenata u budućnosti ostaje visok pogotovo kada za koju godinu narastu novi neprokuženi i na te infekcije osjetljivi naraštaji djece koja piju vodu iz takvog nepouzdanog VOS (29,30,31).

Iz rezultata ovog rada razvidno je da rizici vodoopskrbe postoje za sve vodoopskrbne objekte bez obzira na njihovu veličinu. Rizici su manji za velike vodovode osobito one koji imaju UKPV i koji nemaju prekida u vodoopskrbi tj. raspolažu izdašnim izvorima s dostačnim količinama vodovodne vode za ljudsku potrošnju.

U nadzoru nad vodoopskrbom prema postojećim zakonskim odredbama Republike Hrvatske i po Europskoj direktivi 98/83/EC uočava se da su oni napisani prvenstveno u odnosu na laboratorijski nadzor prema kemijskim i bakterijskim onečišćenjima, a ne prema virusima i protozoima kao uzročnicima bolesti (32).

Zdravstveno stanje stanovništva na područjima vodoopskrbnih objekata pod pojmom biološkog monitoringa rizika vodoopskrbe u hrvatskoj legislativi, jednako kao i u legislativi EU, jedva se bojažljivo spominje, kroz pojam „ako postoje higijensko-epidemiološke indikacije“. Nigdje nije navedena potreba sustavnog i obvezatnog redovitog praćenja kretanja ACZB po područjima pojedinih vodoopskrbnih objekata (33).

Prijave zaraznih bolesti trebalo bi bilježiti i analizirati po adresama mjesta stanovanja, a ne samo pripadajućeg grada, odnosno općine.

Uvođenjem elektronskog prijavljivanja zaraznih bolesti s nazivima i šiframa dijagnoza akutnih zaraznih bolesti prema aktualnoj Međunarodnoj klasifikaciji bolesti postigao bi se bolji operativni nadzor nad pojavnosću i kretanjem svih zaraznih bolesti pa tako i njezine skupine Akutnih crijevnih zaraznih bolesti.

Zbog cijelovitijeg nadzora biološkog djela sigurnosti vodoopskrbe neophodno bi bilo u periodičnim izvješćima sigurnosti/rizika vodoopskrbe prikazivati analize kretanje akutnih crijevnih zaraznih bolesti kod stanovnika pripadajućeg područja vodoopskrbnog sustava. O tome bi javnost trebala biti redovito obavješćivana jer kako je isticao Andrija Štampar: „Informiranje javnosti važnije je od ijednog zakona!“

ZAKLJUČAK

U Splitsko-dalmatinskoj županiji kao i u razvijenim zemljama klasične crijevne antrroponeze trbušni tifus, dizenterija i hepatitis A su gotovo eradicirane. Bilježe se samo importirani oblici. Ulaganja u vodoopskrbu posljednjih decenija dovela su do zamjetnih poboljšanja što je prepoznato u turističkim emitivnim zemljama zbog čega je Hrvatska i SDŽ turističko odredište visoke zdravstvene sigurnosti.

Sadašnje crijevne infekcije su blage bolesti dijarealnog sindroma (enterocolitis ac.) virusne etiologije s kojima se susreću razvijene zemlje.

Retrospektivnom analizom pobola od ACZB bez Salmoneloza po pripadajućim vodoopskrbnim sustavima u Splitsko-dalmatinskoj županiji u razdoblju 2001.-2011. godine, procijenjen je zdravstveni rizik vodoopskrbe stanovnika po područjima vodoopskrbnih sustava.

Zbog nedovoljne zaštite površinskih voda u kršu u rizicima nastanka hidričnih infekcija i hidričnih epidemija su i veliki i mali vodovodi.

Najveću sigurnost tj. najmanji infektivni rizik vodoopskrbe imaju vodoopskrbni sustavi koji raspolažu uređajima za kondicioniranje i popravku vode.

Najveći stupanj rizika imaju stanovnici s područja malih vodovoda za opskrbu područja do 10.000 stanovnika, čiji vodozahvati nisu zaštićeni od zagadenja otpadnim i fekalnim vodama.

Samo dezinfekcija vode klornim preparatima kao jedina higijenska mjera nije dostatna za sigurnost vodoopskrbe.

Sadašnji rutinski laboratorijski nadzor ne jamči stalnu zdravstvenu ispravnost vode za piće te su mogući incidenti premda su oni veoma rijetki.

U mikrobiološku dijagnostiku potrebno uvesti nove metode molekularne biologije.

Pri regionalnim sveučilišnim centrima trebalo bi razviti osnove sanitarne virologije voda.

Sadašnji sustav praćenja akutnih crijevnih zaraznih bolesti temeljem pisanih Prijava ima vrijednost kod retrospektivnih analiza ne i za redovite operativne potrebe.

Elektronskim oblikom prijavljivanja bolesnika od zaraznih bolesti prema nazivima i šiframa dijagnoza MKB-10 po adresama njihovih naselja postigao bi se bolji operativni nadzor nad pojavnosću svih zaraznih bolesti pa tako i akutnih crijevnih zaraznih bolesti. Okrupnjavanjem malih vodoopskrbnih susatava i ugradnjom uređaja za kondicioniranje i popravku krških voda infektivni rizici vodoopskrbe bi se uvelike uklonili.

LITERATURA

1. European Centre for Disease Prevention and Control. (2014), Annual epidemiological report 2014 – food- and waterborne diseases and zoonoses. Stockholm: ECDC; Dostupno na adresi: <http://ecdc.europa.eu/en/publications/Publications/food-waterborne-diseases-annual-epidemiological-report-2014.pdf> (pristupljeno siječanj 2016.)
2. World Health Organization Regional Office for Europe. (2016), European hospital morbidity database (HMDB) , European detailed mortality database (DMDB) and European Health for All Database (HFA-DB)
3. Leclerc, H., Schwartzbrod, L. and Dei-Cas, E. (2002), Microbial agents associated with waterborne diseases, Crit Rev Microbiol. 28(4):371-409.
4. Presečki, V. (1997), Virusi u vodi, HMA 21:67-76
5. Yeung, GWC., Rawlinson, DW. and Craig, EM. (2011), Enterovirus infection and type 1 diabetes mellitus: systematic review and meta-analysis of observational molecular studies, *BMJ*;342:d35. dostupno na adresi: <http://www.bmj.com/content/342/bmj.d35>
6. Rasko, DA., and all. (2011), Origins of the *E coli* Strain Causing an Outbreak of Hemolytic–Uremic Syndrome in Germany, *N Engl J Med* 365:709-717 August 25,
7. Jones, J., Gastellu-Etchegorry, M., Stenz, FK. and all. (2011), Epidemiology, surveillance and control of infectious diseases in the European overseas countries and territories, *Euro Surveill*. 201116(29):pii=19923. dostupno na adresi: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=19923>
8. Riccardo, F., Napoli, C., Bella, A., Rizzo, C., Rota, MC., Dente, MG., De Santis, S. and Declich, S. (2011), Syndromic surveillance of epidemic-prone diseases in response to an influx of migrants from North Africa to Italy, *Euro Surveill*. 2011;16(46):pii=20016. dostupno na adresi: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=20016>
9. Piarroux, R. and all. (2011), Understanding the cholera epidemic, Haiti. *Emerg. Infect. Dis.* 17:1161–1168. Medline
10. Hendriksen, RS. eand all. (2011), Population Genetics of *Vibrio cholerae* from Nepal in 2010: Evidence on the Origin of the Haitian Outbreak, *ASM*. dostupno na adresi: <http://mbio.asm.org/content/2/4/e00157-11.full?sid=72e74f81-30dd-4a33-aea2-34f42e11656f>

11. Smoljanović M. (2010), Epidemija kolere na Haitiju, PLIVAMed. dostupno na adresi: <http://www.plivamed.net/vijesti/clanak/4487/Epidemija-kolere-na-Haitiju.html> , pristupljeno siječanj 2016.
12. Emili, H. and Sindik, A. (1956), Sprečavanje i suzbijanje akutnih zaraznih bolesti u Hrvatskoj, Epidemiološki odjel Centralnog higijenskog zavoda Zagreb.
13. Hrvatski zdravstveno-statistički ljetopis, Hrvatski zavod za javno zdravstvo, godišnjaci 2005. do 2014. godina. Dostupno na adresi http://www.hzjz.hr/publikacije/statisticki_ljetopis/
14. Prikaz zdravstvenog stanja Splitsko-dalmatinske županije, Nastavni zavod za javno zdravstvo Split, godišnjaci 1996.- 2012. godine
15. Smoljanović, A., Carev, M., Tandara, D., Petrić, I., Makarić, K. and Smoljanović, M. (2012), Crijevne zarazne bolesti ponovno prijete – potreban preustroj higijensko-epidemiološkog nadzora, HČJZ Vol 8, Broj 30, dostupno na adresi: <http://www.hcjz.hr/index.php/hcjz/article/view/46/60> , pristupljeno siječanj 2016.
16. Figueras, MJ. and Borrego, JJ. (2010), New Perspectives in Monitoring Drinking Water Microbial Quality. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 7, 4179-4202. [10.3390/ijerph7124179](https://doi.org/10.3390/ijerph7124179)
17. Borchardt, MA., Spencer, SK., Kieke, BJA., Lambertini, E. and Loge, FJ. (2012), Viruses in Non-Disinfected Drinking Water from Municipal Wells and Community Incidence of Acute Gastrointestinal Illness, *Environ Health Perspect* <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1104499>
18. Carev, M. (2006), Dijagnostika infekcija probavnog sustava (Diagnosis of intestinal system infections). HČJZ Vol 2, Broj 6, 7. travanj 2006. ISSN 1845-3082. dostupno na adresi: <http://www.hcjz.hr/clanak.php?id=12824&>
19. Smoljanović, A., Smoljanović, M. and Boćina, I. (2009), Zasade Andrije Štampara u Dalmaciji. U Andrija Štampar, Radovi sa znanstvenih skupova „Dani Andrije Štampara u Slavonskom Brodu“. Slavonski Brod, Slavonski Brod, 2009, 161-201.
20. Dadić, Ž., Lovrić, E., Ujević, M. and Ambrenac, J. (2007), Mali vodovodi – javozdravstveni rizik. U Zborniku XI znanstveno-stručni skup «Voda i javna vodoopskrba». Bol na Braču 3.-6. listopad 2007. str. 5-16.
21. Smoljanović, M. (2007), Hidrične epidemije – osobna saznanja. U Zborniku XI znanstveno-stručni skup «Voda i javna vodoopskrba». Bol na Braču 3.-6. listopad 2007.

- str. 31-5120.
22. Suić, M. (1969), Hidrična epidemija tifusa u Omišu 1969. Narodno zdravlje, Beograd, br.8, str 281-297 i br. 9, str. 469-489.
23. Bradarić, N., Smoljanović, M., Pavić, S., Ivić, I. and Kalajdžić, M. (1994), Epidemiological and clinical characteristics of a typhoid fever outbreak in the Lasva Valley Central Bosnia spring 1994., Croatian Medical Journal, 35 (3), pp. 177-182.
24. Hrvatske vode, (2008), Vodoopskrbni plan Splitsko-dalmatinske županije, 2008. godina, dostupno na adresi: <http://www.dalmacija.hr/Portals/0/docs/Skupstina/2011/24/12a.%20vodplanst.pdf> pristupljeno siječanj 2016.
25. Beer, DK., Gargano, WJ., Roberts, AV., and all. (2015), Surveillance for Waterborne Disease Outbreaks Associated with Drinking Water – United States, 2011–2012, MMWR / August 14, 2015 / Vol. 64 / No. 31, 842-848.
26. WHO, (2005), Water Safety Plans, Geneva http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsp170805.pdf
27. Ninčević, J., Smoljanović, M., Petrić, I., Smoljanović, A., Marić, D., Ropac, D. (2007), Hepatitis A virus više ne stanuje u Sinju! XI znanstveno-stručni skup «Voda i javna vodoopskrba», Bol na Braču 3.-6. listopad 2007. str. 93-104.
28. Smoljanović, M. (2007), Epidemiološke osobitosti zaštite zdravlja turista, HČJZ Vol 3 Broj 10, <http://www.hcjz.hr/clanak.php?id=13338>
29. Ljubić, M. (2011), Hidrična epidemija gastrenteritisa u Metkoviću otkrivena i zaustavljena bez prijave oboljenja zaraznih bolesti sa hitnog medicinskog prijama i izabranih liječnika, Vjesnik ZZJZ Dubrovačko-neretvanske županije, rujan 2011. br. 30, dostupno na adresi: <file:///C:/Users/Mladen/Downloads/Vjesnik%20br%2030.pdf>
30. Piskač, I., Ljubić, M. (2012), Hidrična epidemija s izvořišta Butina, Zavod za javno zdravstvo Dubrovačko-neretvanske županije, 05.04. 2012., dostupno na adresi http://zzjzdnz.hr/hr/home/dogadjanja/261-ch-0?&l_over=1
31. Nastavni zavod za javno zdravstvo Splitsko-dalmatinske županije, Služba za epidemiologiju zaraznih bolesti, (2015), Izvještaj o epidemiji gastroenterokolitisa na području Vrgorca i okolnih mjesta, 13.07.2015., tekst kod autora
32. Rodriguez-Lazaro, D., Cook, N., Ruggeri, MF. and all. (2012), Virus hazards from food, water and other contaminated environments, FEMS Microbiol Rev 36, 786-814. dostupno na adresi: <http://femsre.oxfordjournals.org/content/36/4/786> , pristupljeno

siječnja 2016.

33. Hrvatski sabor, (2013), Zakon o vodi za ljudsku potrošnju, http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_05_56_1138.html

Prilog

Akutne crijevne zarazne bolesti bez salmoneloza prema Prijavama zaraznih bolesti u Splitsko-dalmatinskoj županiji poredane po stopama prosječnog godišnjeg morbiditeta/100.000 za razdoblje 2001. do 2011. godine

GRAD/ Općina	prosj. br. stanovnika	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2001.- 2011.	na 100.000
TROGIR	13128	153	144	139	149	165	274	95	144	109	83	103	1558	1078,89
Okrug	3219						39	30	57	4	5	16	151	781,82
Marina	4684	31	11	24	21	47	62	30	50	36	29	49	390	756,93
Seget	4684	34	29	22	33	34	89	30	32	26	22	13	364	677,54
VRGORAC	7047	12	18	23	38	10	50	44	87	78	91	51	502	647,60
HVAR	4189	2	2	5	1		26	34	35	32	36	54	227	492,63
IMOTSKI	10558	36	37	40	28	28	35	34	76	66	66	88	534	459,80
VRLIKA	2432	4	3	13	19	7	10	17	8	7	5	15	108	403,71
STARI GRAD	2752	3	3	2	1		29	9	31	8	17	19	122	403,01
KAŠTELA	36289	76	130	49	75	116	229	132	112	183	231	227	1560	390,80
KOMIŽA	1593		2		2	2	7	2		8	5	39	67	382,35
Sućuraj	478	2				5	3	7			1	0	18	342,34
SUPETAR- Sutivan	4785	1			6	4	77	16	11	9	12	35	171	324,88
Solinska Zagora	12464	14	11	10	22	6	57	36	60	34	56	71	377	302,47
Jelsa	3608		4		3	1	6	3	5	9	48	41	120	302,36
Proložac	4153	4	7	5	7	9	4	7	20	26	15	18	122	267,06
Šolta	1577		1	1	3	2	11	4	1	18	3	0	44	253,65
OMIŠ	15172	25	28	15	23	26	79	55	57	23	22	35	388	232,49
Postira	1554		1				10	9	6	2	1	8	37	216,45
Podstrana	8222	5	7	3	10	12	52	24	26	16	15	14	184	203,45
SOLIN	21489	37	32	25	28	20	106	48	48	30	58	45	477	201,71
SINJ	25103	34	42	19	22	30	42	22	28	80	102	111	532	192,66
SPLIT	183443	226	314	184	249	222	561	307	398	439	378	385	3663	181,53
Hrvace	3885	1	1		1	4	6	1	15	18	12	18	77	180,18
Dicmo	2739	3	3	2		1	9	3	8	5	7	6	47	156,00
Dugi Rat	7198	4	6	8	16	5	26	21	10	3	10	11	120	151,56
Runovići- Zmijavci	4648	9	3	4	3	4	1	6	6	4	15	20	75	146,69
TRILJ	10108	12	15	5	11	9	17	7	14	23	18	26	157	141,20
Milna	1055				1	1	1	6	1	1	2	3	16	137,87
Zagvozd	1413	1	2	1	5	1	1		1	1	3	5	21	135,11
Nerežića	866						3	3	2			4	12	125,97
VIS	1940		8		2	4	1		1		1	9	26	121,84
Otok	5625	7	1	5	1	1	7	9	4	9	10	19	73	117,98
Pučišća	2207	8	1	1	1		3	1	1	2		5	23	94,74
Bol	1653			1			1	9	1	1		4	17	93,49
Podbablje	4807		1	1	2	1	1	1	2	11	11	10	41	77,54
MAKARSKA - Tučepi	15715	5	14	3	11	4	23	22	14	20	8	9	133	76,94
Selca	1891	1			1			4		1	2	7	16	76,92
Cista Provo	3026	2	5	2		2	3	1			1	0	16	48,07
Podgora	2699	1	1					3		3		2	12	40,42
Šestanovac- Zadvarje	2584	1		1	3	1	1		1		2	1	11	38,70
Baška Voda	2826		1	1		1	2	4			1	1	11	35,39
Brela	1707		2							1	1		6	31,95

Lovreč-Lokvičići	3009		3	2	1	6	18,13							
Splitsko-dalmatinska županija	454224	754	890	614	798	787	1964	1096	1377	1348	1404	1600	12632	252,70

TVRDOĆA VODE - EKOLOŠKI ČIMBENIK RIZIKA KARDIOVASKULARNIH BOLESTI

Nevenka Jelić-Knežović¹, Zora Pilić², Mustafa Memić³, Ivanka Mikulić¹, Marina Vasilj², Igor Azinović¹, Ivana Martinović²

¹Medicinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, ²Fakultet prirodoslovno-matematičkih i odgojnih znanosti Sveučilišta u Mostaru, ³Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Sarajevu

Kardiovaskularne bolesti su jedan od glavnih uzroka smrtnosti u razvijenim zemljama. Standardni čimbenici rizika su: genetika, hipertenzija, dislipidemija, pušenje i tjelesna (ne)aktivnost. Međutim, regionalne razlike u pojavnosti kardiovaskularnih bolesti (KVB), ne samo između država nego i unutar regija pojedine zemlje, ne mogu se objasniti nabrojenim čimbenicima rizika. Varijabilnosti u pojavnosti KVB mogu biti posljedica i socio-ekonomskih, psihosocijalnih i ekoloških čimbenika rizika. Kako je poznat zaštitni utjecaj tvrdoće vode, osobito magnezija, na nastanak i razvoj kardiovaskularnih bolesti cilj ovog istraživanja je bio utvrditi postoji li statistički značajna razlika u broju oboljelih od kardiovaskularnih bolesti u ispitaničima koji koriste meku u odnosu na ispitaniče koji piju tvrdnu vodu za piće.

U istraživanju su uključene dvije populacijske skupine s područja Hercegovine. Prva skupina su činili ispitanci s poručja župe Kočerin, (ukupan broj ispitnika n = 603) koji koriste vodu za piće iz čatrnja (kišnicu), a druga skupina je populacijska skupina s područja grada Mostara koja koristi izvorište Studenac za vodosnabdijevanje (n = 618). Za analizu fizikalno-kemijskih parametara uzeto je 40 uzoraka vode iz čatrnja i 10 uzoraka vode s područja Mostara. Za fizikalno-kemijsku analizu uzoraka vode korištene su slijedeće metode: konduktometrija, volumetrija i atomska apsorpcijska spektrofotometrija (AAS).

Za statističku obradu podataka korišten je χ^2 test. Razina značajnosti je 0,050. Podaci su obrađeni primjenom statističkog programa SPSS 16.0.

Na temelju provedenih istraživanja utvrđena je statistički značajna razlika u zastupljenosti kardiovaskularnih bolesti s obzirom na tvrdoću vode, bolesti su češće dijagnosticirane u ispitaničima koji koriste meku vodu za piće. Među ispitanicima koji piju meku vodu, a pripadaju dobroj skupini od 45 – 60 godina češća je pojavnost kardiovaskularnih bolesti u odnosu na istu starosnu skupinu ispitnika koji piju tvrdnu vodu. Utvrđeno je kako postoji pozitivna korelacija između sadržaja minerala, tvrdoće vode i pojavnosti kardiovaskularnih bolesti.

Ključne riječi: voda za piće; kardiovaskularne bolesti; meka i tvrda voda; atomska apsorpcijska spektrofotometrija (AAS)

UVOD

Kardiovaskularne bolesti, bolesti srca i krvo-žilnog sustava su javno-zdravstveni problem diljem svijeta, jer su među glavnim uzročnicima smrtnosti u razvijenim zemljama. Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije u svijetu godišnje umire 16,6 milijuna ljudi, a od toga 5 milijuna u Europi [1].

Nažalost, i u našoj državi trend obolijevanja i umiranja od kardiovaskularnih bolesti u stalnom je porastu i odgovara trendu zemalja u tranziciji. Eksperti Svjetske zdravstvene organizacije predviđaju porast obolijevanja od kardiovaskularnih bolesti u periodu od 2006. – 2015. godine za čak 20 %.

Kada je u pitanju Bosna i Hercegovina, u statističkim izvješćima koje vode županijski Zavodi za javno zdravstvo, podaci govore da su stope smrtnosti i obolijevanja od kardiovaskularnih bolesti rapidno rasle od 60-tih godina prošlog stoljeća naovamo, a zadnji podaci pokazuju da je u Bosni i Hercegovini stopa smrtnosti od KVB oko 50 % od svih uzroka smrtnosti i u žena i u

muškaraca [2] Kardiovaskularne bolesti su prevenabilne bolesti, stoga se načinom življena i odgovarajućim mjerama, mogu spriječiti ili pak odgoditi njihov prijevremeni nastanak i razvoj. Glavni čimbenici rizika, ako izuzmemo čimbenike na koje se ne može utjecati, kao što su genetika, dob i spol, su: ukupni kolesterol (TC), HDL kolesterol, omjer TC i HDL kolesterola dislipidemija, pušenje, prekomjerno konzumiranje alkohola, prehrambene navike i tjelesna neaktivnost [3]. Međutim, ti klasični čimbenici ne objašnjavaju u potpunosti varijabilnost mortaliteta od KVB u različitim zemljama. Zašto se koronarna smrtnost razlikuje među populacijama? [4,5]. U čimbenike rizika se ubrajuju i okoljni čimbenici, među kojima se nalazi i tvrdoča vode [6,7]. Dakle, da bi se bolje razumjele odrednice KVB, posebnu pažnju treba posvetiti čimbenicima okoliša, kao što su vrijeme, zagađenja zraka ili mineralni sastav vode za piće. Odnos između kardiovaskularne smrtnosti i sadržaja minerala u vodi prvi je opisao Kobayashi u Japanu i Schroeder u Sjedinjenim Državama [8,9]. Od tada su provedena mnoga epidemiološka istraživanja širom svijeta, a većina rezultata opisuje zaštitni odnos između stope smrtnosti od KVB i povećane tvrdoče vode. Tvrdoču prirodne vode čine polivalentni kationi: kalcij, magnezij, željezo, aluminij, mangan, stroncij, cink i drugi metali. Budući, da osim kalcija i magnezija i drugi kationi imaju manju ulogu, kasnije je opće prihvaćeno da se tvrdoča vode definira kao zbroj kalcijevih i magnezijevih iona i izražava se kao koncentracija CaCO_3 (mg/L). Pored iona kalcija i magnezija koji su odgovorni za tvrdoču vode, važno je istaknuti i povezanost iona natrija s kardiovaskularnim bolestima. Zbog veliketopljivosti natrijevih soli, natrij se nalazi u podzemnim i površinskim vodama. Koncentracije natrija se znatno mijenjaju, ovisno o pokrajinskim i mjesnim uvjetima, o godišnjem dobu i načinu korištenja soli. Natrij se ubraja u glavne rizične čimbenike nastanka hipertenzije. Toumilehto J. i sur. su istraživali povezanost unosa soli i smrtnosti od KVB, kardiovaskularnih bolesti srca (KBS) i svih uzroka smrtnosti [10]. Premda je prosječna količina natrija u vodi za piće samo mali dio količine koja se unosi u organizam, ona

može biti važna za osobe koje pate od hipertenzije. Vode za piće različitih geografskih područja mogu imati mnogo natrija, što utječe na ukupni unos natrija u ljudsko tijelo. Prinos ukupnoj dnevnoj količini natrija iz vode može biti i do 15 %.

Odnos između unosa natrija i hipertenzije nije posve razjašnjen. Brojne su rasprave pokazale da smanjenje unosa natrija smanjuje krvni tlak u ljudi s povišenim tlakom, ali to konačno ne znači da povećane koncentracije natrija uzrokuju povišeni tlak. Podjelu voda za piće na hipotenzivne ($< 10 \text{ mg Na/L}$), normotenzivne (od 11 do 20 mg Na/L) i hipertenzivne ($> 20 \text{ mg Na/L}$) neki autori postavili su tako što su koncentraciju natrija povezivali s vrijednošću arterijskoga tlaka [11]. Natrij treba uključiti u praćenje kakvoće vode, jer njegove vrijednosti mogu biti zanimljive onima koji propisuju dijete bolesnicima.

CILJ I SVRHA ISTRAŽIVANJA

Iako mnoge zemlje sugeriraju i opravdavaju integrirani program laboratorijskih i epidemioloških istraživanja s ciljem prihvatanja ili odbacivanja hipoteze povezanosti tvrdoče vode i pojavnosti kardiovaskularnih bolesti u Bosni i Hercegovini nisu rađena takva istraživanja. Svrha ovog istraživanja je doprinijeti boljem razumijevanju povezanosti između mineralnog sastava vode za piće u patogenezi kardiovaskularnih bolesti. Naime, na temelju kemijskog sastava vode za piće mogu se uočiti ekološke poteškoće i uspostaviti korelacija sa zdravstvenim poteškoćama u ispitivanim skupinama, te bi se na temelju toga moglo planirati preventivne mjere.

ISPITANICI I METODE

Ispitanici su populacijske skupine iz dva različita područja Hercegovine s obzirom na vrstu (tvrdi – meki) vode koju koriste za piće.

Pruvu skupinu ispitanika čine stanovnici župe Kočerin, (n = 603) koji nemaju kontrolirani vodoopskrbi sustav, nego koriste tzv. čatrnje (spremnik oborinskih voda). Druga skupina ispitanika je određena poluplacijom iz grada Mostara koja koristi vodu iz vodoopskrbnog sustava

„Studenac“ (n = 618). Iz istraživanja su isključene sve osobe mlađe od 45 godina, s područja Kočerina n = 381 u populaciji iz Mostara n = 310.

Usporedna analiza muške i ženske populacije Kočerina i Mostara u odnosu na starosnu dob data je u tablicama 1. i 2.

Tablica 1. Usporedna analiza ženske populacije iz skupine Kočerin i Mostar.

Starosna dob	Žene /Kočerin	%	Žene/Mostar	%	Ukupno/žene	%
45 - 60	135	39,82	126	32,56	261	35,95
61 – 75	102	30,09	159	41,09	261	35,95
76 – 90	102	30,09	102	26,35	204	28,10
Ukupno	339	100	387	100	726	100

Tablica 2. Usporedna analiza muške populacije iz skupine Kočerin i Mostar.

Starosna dob	Muškarci/ Kočerin	%	Muškarci/ Mostar	%	Ukupno Muški	%
45 - 60	106	40,15	87	37,66	193	38,99
61 – 75	87	32,95	82	35,50	169	34,14
76 – 90	71	26,90	62	26,84	133	26,87
Ukupno	264	100	231	100	495	100

Odabrane skupine ispitanika imaju statističku homogenost u odnosu na starosnu dob i spol.

Uzorci vode

Za fizikalno – kemijsku analizu je uzeto ukupno 50 uzoraka vode. Uzorci su uzeti s četiri područja Mabići, Sesari, uže područje Kočerina i Mamići (n = 40) te šireg područja grada Mostara (n = 10). Ukupni volumen uzorka je 1 L. Pola litra uzorka je konzervirano na mjestu uzorkovanja s 0,5 mL 5 % HNO₃, i u tom uzorku su određivani kalcij, magnezij i natrij. Drugi uzorak od pola litra nije konzerviran, jer su u njemu određivani parametri: pH, elektroprovodljivost i ukupna tvrdoća.

Metode analize

Ispitivanja vode obavljana su standardiziranim metodama (Standard Methods 19th Ed., 1995., i važeće ISO metode).

Za statističku obradu podataka korišten je χ^2 test. Razina signifikantnosti je 0,050. Podaci su obrađeni primjenom statističkog programa SPSS 16.0.

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati dobiveni fizikalno-kemijskom analizom ispitivanih parametara u uzorcima vode prikazani u tablici 3.

Tablica 3. Rezultati fizikalno kemijske analize vode iz dva izvorišta.

Parametar	Čatrnja			Studenac		
	min	max.	srednja vrijednost	min	max.	srednja vrijednost
Temperatura (°C)	17,8	20,0	17,6	10,90	11,5	11,2
Električna vodljivost (µS·cm⁻¹)	40,0	130,0	73,8	293,0	340	333,2
pH	7,00	8,20	7,65	7,70	7,80	7,76
*UT (mg (CaCO ₃)/L)	23,00	95,0	42,86	189,00	220,00	199,8
Ca (mg/L)	5,980	37,06	14,46	68,43	88,47	77,6
Mg (mg/L)	0,100	2,00	0,34	5,78	7,16	6,32
Na (mg/L)	0,370	3,10	1,19	0,86	2,87	1,55

* UT – ukupna tvrdoća vode izražava se kao koncentracija kalcijeva karbonata koja je ekvivalentna ukupnoj koncentraciji svih viševivalentnih kationa

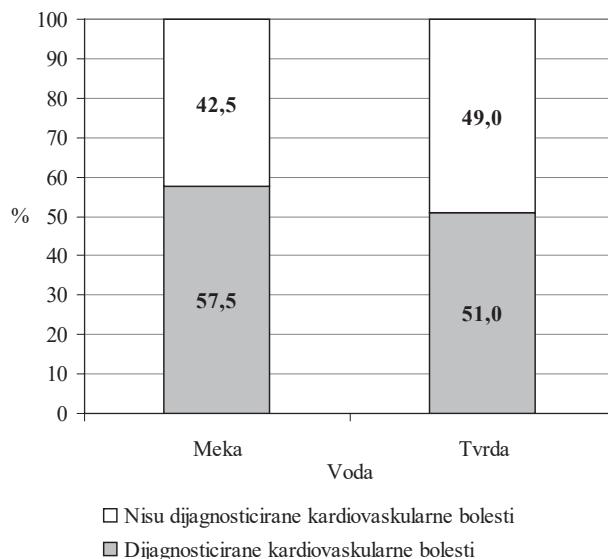
Iako postoje varijacije u vrijednostima ukupne tvrdoće - maksimalna koncentracija CaCO₃ je 95,00 mg/L, što odgovara 5,32 izraženo u njemačkim stupnjevima tvrdoće, a minimalna koncentracija je 20,00 mg/L što odgovara 1,12 njemačkih stupnjeva. Evidentno je da kišnica pripada kategoriji veoma mekih voda.

Dobiveni rezultati za koncentracije minerala (kalcija i magnezija) su u korelaciji s ukupnom tvrdoćom vode. Prema rezultatima analize vode iz vodoopskrbnog sustava Studenac, ukupna tvrdoća vode izražena kao mg/L CaCO₃, se neznatno mijenja s obzirom na mjesto uzorkovanja. Vrijednosti ukupne vrdoće odgovaraju krškoj hidrografiji izvorišta. Prema vrijednostima za ukupnu tvrdoću vode koja se kreće u rasponu 18,009 do 220,00 mg/L CaCO₃ evidentno je da voda s izvorišta Studenac pripada tipu tvrde vode.

U ispitivanim uzorcima vode koncentracije Mg u vodovodnoj vodi grada Mostara su približne minimalnim vrijednostima magnezija (10 mg/L) [12, 13], a znatno su ispod optimalnih koncentracija (20-30 mg/L) [14, 15]. Koncentracija kalcija zadovoljava optimalne vrijednosti (40-80 mg/L) [16, 17].

Voda koju koriste stanovnici Kočerina ne zadovoljava minimalno preporučene koncentracije ukupne tvrdoće vode, dok voda iz grada Mostara zadovoljava optimalne (minimalno 100 mg/L CaCO₃, optimalno 200-400 mg/L) [18].

Analizom povezanosti tvrdoće vode i broja oboljelih od kardiovaskularnih bolesti u dvije ispitivane populacijske skupine s obzirom na tip vode koju piju dobiveni su sljedeći rezultati, prikazani grafikonom 1.

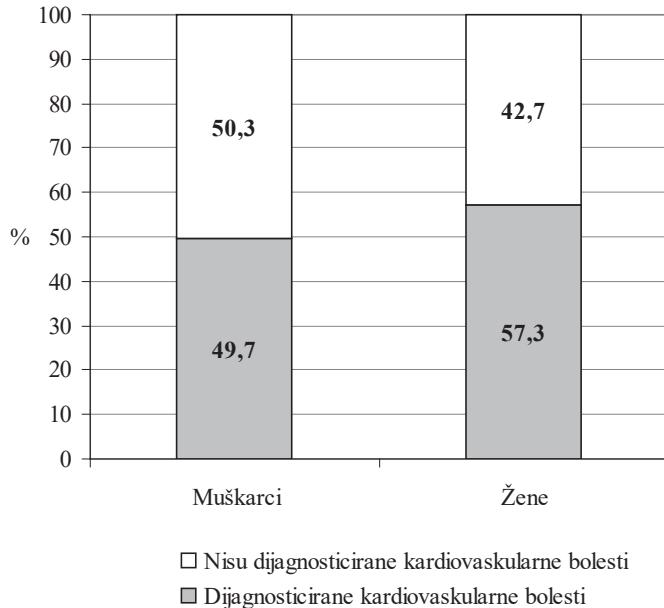


Grafikon1. Raspodjela ispitanika prema broju oboljelih i tipu vode.

Postoji statistički značajna razlika u zastupljenosti kardiovaskularnih bolesti s obzirom na tvrdoču konzumirane vode ($\chi^2=5,315$; df=1; p=0,021), bolesti su više dijagnosticirane kod ispitanika koji konzumiraju meku vodu. Vrijednost relativnog rizika (RR) je 1,127. Slične rezultate su dobili i istraživači Rylander i sur. koji su zaključili da su niske koncentracije Mg uzrokovale značajne razlike u incidenciji smrtnosti od kardiovaskularnih bolesti [19, 20].

Teitge [21] je u desetogodišnjoj studiji uspoređivao pojavnost infarkta miokarda u oblastima s tvrdom i mekom vodom. Koncentracije Mg su bile od 2 do 48 mg/L, a srednje koncentracije od 2,9 do 5,8 mg/L. Smanjenje incidencije infarkta miokarda s 322 oboljelih na 206 od 100.000 ljudi (tj. za 38 %) bio je povezan s povećanjem koncentracije magnezija [21].

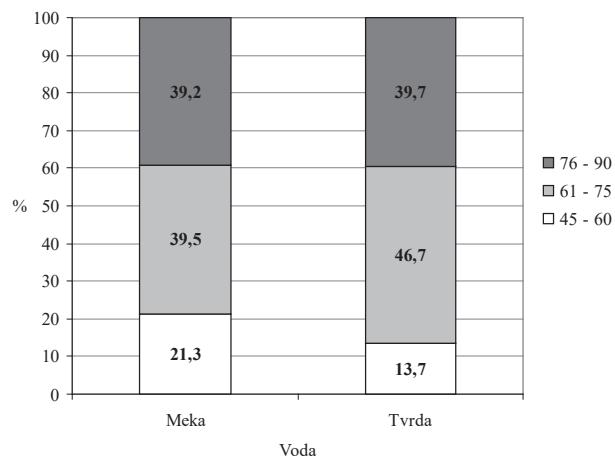
Analizom zastupljenosti kardiovaskularnih bolesti prema spolu rezultati su pokazali statistički značajnu razliku ($\chi^2=6,855$; df=1; p=0,009). Bolesti su više zastupljene u ženskoj populaciji bez obzira na tip vode. Grafikon 2.



Grafikon 2. Raspodjela ispitanika u ukupnom uzorku prema spolu i dijagnosticiranim KVB.

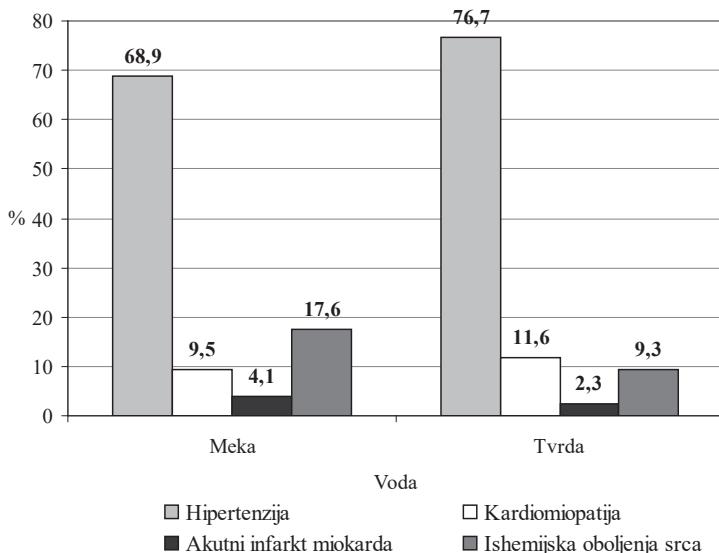
U istraživanju utjecaja vode i pojavnosti kardiovaskularnih bolesti s obzirom na dob rezultati su prikazani u grafikonu 3.

U dobroj skupini 45 – 60 godina bolesti su zastupljenije među ispitanicima koji konzumiraju meku vodu ($\chi^2=8,214$; $df=1$; $p=0,004$). U ostalim dobnim skupinama se nije pokazala statistički značajna razlika.



Grafikon 3. Raspodjela ispitanika po dobnim skupinama i tipu vode.

U dobnoj skupini starosti od 45 do 60 godina nije se pokazala statistički značajna razlika s obzirom na vrstu kardiovaskularne bolesti koja im je dijagnosticirana ($\chi^2=1,873$; $df=3$; $p=0,599$). Grafikon 4.



Grafikon 4. Raspodjela ispitanika prema vrsti bolesti i tipu vode u dobnoj skupini 45-60 godina.

Također se nije pokazala statistički značajna razlika u ukupnoj populaciji s obzirom na vrstu kardiovaskularne bolesti koja im je dijagnosticirana ($\chi^2=2,337$; $df=3$; $p=0,505$). Među prvima koji su pokazali značajnu korelaciju između pojavnosti ishemijške bolesti srca i koncentracije magnezija u vodi za piće bili su Marier i Neri osamdesetih godina prošlog stoljeća [22].

ZAKLJUČAK

Kako je ovo jedno od prvih istraživanja provedenih u BiH za potvrđivanje hipoteze „Tvrdoća vode je čimbenik rizika za razvoj KVB“ dobiveni rezultati su doprinijeli proširenju postojećih saznanja koji potvrđuju navedenu hipotezu. Pozitivna koleracija između tvrdoće vode i pojavnosti KVB nije dovoljna da se jednoznačno zaključi da su ukupna tvrdoća vode, kalcij i magnezij jedini čimbenici rizika koji se izdvajaju u ispitivanim populacijskim skupinama. Međutim, izdvajanje ovog čimbenika rizika moglo bi se provesti kroz integrirani program laboratorijsko-epidemioloških istraživanja na širem području BiH. Na temelju kemijskog sastava vode za piće mogu se uočiti ekološke poteškoće i uspostaviti korelaciju sa zdravstvenim poteškoćama u ispitivanim populacijskim skupinama, te bi se na temelju toga mogle planirati i preventivne mjere. Time bi mogli utjecati na ogromni godišnji morbiditet i mortalitet od KVB.

LITERATURA

1. Allender, S., Scarborough, P., Peto V. (2008), European cardiovascular disease statistics. University of Oxford.
2. Zavod za javno zdravstvo: Zdravstveno stanje stanovništva i zdravstvena zaštita u FBiH, ISSN 1986-5074. <http://www.zzjzbih.ba/wp-content/uploads/2011/05/zdravstveno-stanje-stanovnistva-2009.pdf>
3. Vrhovec, B., Francetić, I., Jakšić, B., Labar, B. (2003), Interna medicina. Medicinska biblioteka, Zagreb.

4. Hornstra, G., Barth, CA., Galli C. (1998), Functional food science and the cardiovascular system. *Br J Nutr.* **80**, 113-146.
5. Wilson, PW. (1999), Metabolic risk factors for coronary heart disease: current and future prospects. *Curr Opin Cardiol.* **14**, 176-185.
6. Frost, F. J. (2005), Studies of minerals and cardiac health in selected populations. In: Nutrients in drinking water. Water, Sanitation and Health Protection and the Human Environment. WHO. 101–126.
7. Higgins M. (2001), Patients, families and populations at high risk for coronary heart disease. *Eur Heart.* **22**, 1682-90.
8. Kobayashi, J. (1957), Geographical relationship between chemical nature of river water and death rate from apoplexy. *Ber Ohara Inst Landwirtsch Biol Okayama Univ.* **11**, 12-21.
9. Schroeder HA. (1960), Relation between mortality from cardiovascular disease and treated water supplies. Variations in states and 163 largest municipalities of the United States. *J Am Med Assoc.* **172**, 1902-08.
10. Tuomilehto, J., Jousilahti, P., Rastenyte, D., Moltchanov, V., Tanskanen, A., Pietinen, P. (2001), Urinary sodium excretion and cardiovascular mortality in Finland: a prospective study. *Lancet.* **357**, 848–51.
11. Stambuk-Giljanovic', N. N., Stambuk, D. D. (2006), Sodium levels in the Dalmatian water resources in 2003. *Liječ. Vjesn.* **128**, 105–113.
12. Novikov, J. V., Plitman, S. I. Levin, A. I. (1983), Hygienic regulation for the minimum magnesium level in drinking water. *Gig. Sanit.* **9**, 7–11.
13. Rubenowitz, E., Molin, I., Axelsson, G., Rylander, R. (2000), Magnesium in drinking water in relation to morbidity and mortality from acute myocardial infarction. *Epidemiology.* **11**, 416–421.
14. Durlach, J., Bara, M., Guiet-Bara, A. (1989), Magnesium level in drinking water: its importance in cardiovascular risk. In: Itokawa Y., Durlach J. (eds). Magnesium in Health and Disease. London, J.Libbey & Co Ltd. 173-182.
15. Lutai, G. F. (1992), Chemical composition of drinking water and the health of population. (In Russian). *Gig. Sanit.* **1**, 13–15.
16. Plitman, S. I., Novikov, Y. V., Tulakina, N. V., Metelskaya, G. N., Kochetkova, T. A., Khvastunov, R. M. (1989), On the issue of correction of hygienic standards with account of drinking water hardness. (In Russian). *Gig. Sanit.* **7**, 7–10.
17. Rachmanin, Y. A., Filippova, A. V. , Michailova, R. I. (1990), Hygienic assessment of mineralizing lime materials used for the correction of mineral composition of low-mineralized water. (In Russian). *Gig. Sanit.* **8**, 4–8.
18. Golubev, I. M., Zimin, V. P. (1994), On the standard of total hardness in drinking water. (In Russian). *Gig. Sanit.* **3**, 22–23
19. Rylander, R., Bonevik, H., Rubenowitz, E. (1991), Magnesium and calcium in drinking water and cardiovascular mortality. *Scand J Work Environ Health.* **17**, 91-4.
20. Rylander, R. (2008), Drinking water constituents and disease. *J. Nutr.* **138**, 423S–25S.
21. Teitge, JE. (1990), Incidence of myocardial infarct and the mineral content of drinking water and the mineral content of drinking water. (In German). *Gesamte Inn Med.* **45**, 478-85.
22. Marier, JR., Neri, LC. (1985), Quantifying the role of magnesium in the interrelationship between human mortality/morbidity and water hardnes. *Magnesium.* **4**, 53-9.

KAKVOĆA VODE ZA PIĆE S POSEBNIM OSVRTOM NA KONCENTRACIJU MINERALA

Zora Pilić¹, Ivana Martinović¹, Nevenka Jelić-Knezović², Igor Azinović¹, Stipe Čelan³, Gloria Zlatić¹

¹Fakultet prirodoslovno-matematičkih i odgojnih znanosti, Matice hrvatske bb, 88 000 Mostar

²Medicinski fakultet, Bijeli Brijeg bb, 88000 Mostar

³Fakultet zdravstvenih studija, Bijeli Brijeg bb, 88000 Mostar

SAŽETAK

Voda za piće je značajan izvor mineralnih tvari, posebice kalcija i magnezija. Pitka voda bogata mineralima može dati znatan doprinos u ukupnom unosu tih tvari u organizam budući da bioraspoloživost kalcija i magnezija iz vode iznosi 5-20% od ukupnoga unosa, što predstavlja značajan postotak osobito ako je prehrana osiromašena esencijalnim mineralima. Apsorpcija kalcija iz vode veća kreće se u granicama od 175 do 180 mg na dan. Magnezij iz vode, gdje je prisutan u slobodnom obliku, apsorbira se 40-60 %. Magnezij je manje prisutan u vodi od kalcija, jer se u zemljinoj kori nalazi u mnogo manjoj mjeri nego kalcij. Prema znanstvenoj literaturi minimalna koncentracija Mg iznosi 10 mg/L, a optimalna 20-30 mg/L, dok je minimalna koncentracija Ca 20 mg/L, a optimalna 40-80 mg/L. Ukupna tvrdoća vode (izražena preko CaCO_3) ima minimalnu vrijednost ako je koncentracija CaCO_3 100 mg/L, a optimalnu kada je koncentracija CaCO_3 od 200-400 mg/L.

U ovom radu su ispitivani fizikalno-kemijski parametri kvalitete vode za piće na području Hercegobanske, Zapadnohercegovačke i Hercegovačko-neretvanske županije kako bi se utvrdio sadržaj mineralnih tvari i mogući zdravstveni učinak minerala. Analiza je provedena na ukupno 30 uzoraka vode uzetih s užeg područja: Mostara, Čapljine, Čitluka, Livna, Ljubuškog, Širokog brijega i Posušja.

Ključne riječi: esencijalni minerali, tvrdoća vode, apsorpcija minerala iz vode, optimalne koncentracije

UVOD

Voda predstavlja osnovu života, budući da čovjek, biljke, životinje, kao i mikroorganizmi, trebaju vodu za normalno odvijanje i održavanje životnih funkcija. Važan je sastojak svih organizama, maseni udio vode u ljudskom i životinjskom organizmu je oko 60 %, a u biljkama, ovisno o vrsti, i do 95 %. U ljudskom tijelu uloga vode je višestruka. Otapa hranjive sastojke. Krvlju i limfnom tekućinom, u kojima je pretežno voda, prenose se hranjivi sastojci do svih organa i uklanjuju otpadne tvari iz organizma. Naš organizam svakodnevno treba oko 2 L vode, koju pribavljamo hranom i pićem [1]. Voda je nezamjenjiv resurs i sastavni dio svakog segmenta ljudskog djelovanja (domaćinstvo, poljoprivreda, industrija). Vode za različite namjene međusobno se razlikuju po kvaliteti, a u novije vrijeme, s obzirom na industrijski razvoj i zagađenje okoliša, od posebnog značenja je očuvanje i kvaliteta pitke vode.

Voda za piće iz javnih vodoopskrbnih sustava potječe iz podzemnih ili površinskih vodotokova i njena fizikalno-kemijska svojstva često su promjenjiva i ovise o vanjskim čimbenicima (temperaturi, količini oborina itd.). To se naročito odnosi na površinske i podzemne vode kraških područja. Voda u ovim sustavima sadrži uglavnom saprofitnu, a ponekad i patogenu

mikrofloru koja se uklanja dezinfekcijom, najčešće kemijskim sredstvima (klor i klorni preparati) [2].

Kvaliteta voda određuje se ispitivanjem fizičkih, kemijskih i bioloških svojstava vode. Fizički pokazatelji kvalitete vode su [3]:

- temperatura vode (parametar koji utječe na dinamiku odvijanja mnogih fizičkih, kemijskih i biokemijskih procesa),
- boja, miris i okus (navedeni faktori nastaju kao posljedica otopljenih organskih i anorganskih spojeva u vodi, voda za piće treba biti prozirna i bez ikakvih izraženih mirisa, okus vode najčešće je određen udjelom otopljenih minerala u vodi),
- ukupni čvrsti ostaci u vodi (predstavljaju ostatak nakon potpunog isparavanja vode),
- mutnoća vode (nastaje kao posljedica suspendiranih i koloidnih čestica u vodi, a nepoželjna je karakteristika vode za piće i vode u tehnološkim procesima) i
- električna vodljivost vode (parametar koji ukazuje na količinu otopljenih minerala u vodi).

Kemijski pokazatelji kvalitete vode [3]:

- pH vrijednost vode (pokazuje koncentraciju vodikovih iona u vodi),
- sadržaj otopljenog kisika u vodi (jedan od najvažnijih pokazatelja kvalitete vode u prirodnim vodama, budući da je kisik ključan za život svih aerobnih organizama),
- tvrdoća vode (određena sadržajem kalcijevih i magnezijevih soli otopljenih u vodi),
- KPK i BPK (kemijska i biološka potrošnja kisika, služe za određivanje organskog opterećenja otpadnih voda),
- sadržaj mikronutrijenata (povećanjem pojedinih mikronutrijenata u vodi dolazi do procesa eutrofikacije i obogaćivanje vode nutrijentima što rezultira povećanjem aktivnosti akvatičnih biljaka) i
- sadržaj teških metala (opasni i štetni za žive organizme).

Od bioloških pokazatelja kvaliteta vode uobičajeno se ispituju sljedeći [3]:

- mikrobiološki sastav vode (sadržaj bakterija, virusa i drugih mikroorganizama koji imaju mogući utjecaj na ljudsko zdravlje, a predstavljaju najznačajniji sanitarno-higijenski pokazatelj kvalitete pitkih voda) i
- hidrobiološki sastav vode.

Tvrdoća vode je svojstvo koje govori o količini minerala sadržanih u vodi. Tvrdoću prirodne vode čine polivalentni kationi: kalcij, magnezij, željezo, aluminij, mangan, stroncij, cink i drugi metali. Budući, da osim kalcija i magnezija drugi kationi imaju manju ulogu, prihvaćeno je da se tvrdoća vode definira kao zbroj kalcijevih i magnezijevih iona i izražava se kao koncentracija CaCO_3 (mg/L). Prisutnost kalcija i magnezija u prirodnim vodama ovisi o njihovom sadržaju u zemljinoj kori. Magnezij je uobičajeno u nižim koncentracijama zastupljen u vodi, budući je maseni udio magnezija u zemljinoj kori 2,1 %, dok je maseni udio kalcija 3,63 %. [4].

Razlikuje se nekoliko tipova tvrdoća vode (tablica 1), a to su ukupna tvrdoća (UT), karbonatna tvrdoća (KT), nekarbonatna tvrdoća (NT) ili ostatna tvrdoća (OT), kalcijeva tvrdoća (CaT), te magnezijeva tvrdoća (MgT) [5].

Tablica 1. Tvrdoća vode

Karbonatna KT	Nekarbonatna NT	Kalcijeva CaT	Magnezijeva MgT
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	CaSO_4	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$
$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	MgSO_4	CaSO_4	MgSO_4
	CaCl_2	CaCl_2	MgCl_2
	MgCl_2		

Ovisno o tome, sadrži li neka voda više ili manje kalcijevih ili magnezijevih soli, ona može biti tvrda ili meka. S obzirom na ukupnu tvrdoću, koju čini zbroj karbonatne i nekarbonatne tvrdoće, vode se mogu podijeliti na [2]:

- meke vode (do 9 °nj)
- umjereno tvrde vode (9-18 °nj)
- tvrde vode (18-26 °nj) i
- vrlo tvrde vode (iznad 26 °nj)

Kalcij i magnezij su minerali koji su neophodni za ljudsko zdravlje i njihov nedovoljni unos narušava ravnotežu unutar organizma, što se dovodi u vezu s pojavom brojnih bolesti. Magnezijevi kationi nalaze se u većini tjesnih stanica. Magnezij je sudionik u oko 300 enzimskih reakcija jer potiče djelovanja većine enzima. Bitna mu je zadaća prijenos nadražaja sa živca na mišić i upravljanje kontrakcijom mišića. Obavezno svakodnevno uzimanje magnezija preporučuje se nekim kroničnim bolesnicima, primjerice nakon infarkta srca. Kalcij u obliku hidroksiapatita, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, nalazi se u kostima i zubima, a važan je i u djelovanju živčanog sustava[1]. Kalcij iz vode se jednako absorbira i zadržava u organizmu kao i kalcij iz mlijeka. Jedna litra vode koja sadrži 300 mg/L kalcija će pružiti jednaku količinu kalcija kao i mlijekočni obrok. Prema tome, ovisno o količini karbonata u vodi i količini konzumirane vode, može se zaključiti kako voda daje veliki doprinos u ukupnom dnevnom unosu kalcija u organizam. Epidemiološka istraživanja pokazuju zaštitni odnos tvrdoće vode prema kardiovaskularnim bolestima [6, 7].

MATERIJALI I METODE

Uzorci vode

Fizikalno – kemijska analiza provedena je na ukupno 30 uzoraka vode uzetih s užeg područja Mostara, Čapljine, Čitluka, Livna, Ljubaškog, Širokog brijega i Posušja.

Metode analize

Fizikalno-kemijska analiza uzoraka provedena je standardiziranim metodama (Standard Methods 19th Ed., 1995., i važećim ISO metodama).

pH vrijednost se određuje elektrokemijskim mjerenjem, potenciometrijski sa staklenom ion selektivnom elektrodom kao indikatorском i Ag/AgCl elektrodом kao referentnom. Za određivanje pH vrijednosti vode korišten je pH metar Boeco BT-600.

Za određivanje elektrovodljivosti vode korišten je konduktometar WTW LF 538.

Određivanje oksidativnosti, odnosno potrošnje KMnO_4 služi za brzo dobivanje podataka o zagađenosti vode, a potrošnja KMnO_4 može se samo uvjetno uzeti kao mjerilo sadržaja organskih tvari u vodi.

Isparni ostatak dobiven je nakon uparavanja 20 mL uzroka vode u porculanskom lončiću, te sušenja na 103 – 105 °C do konstantne mase.

Masa suspendiranih tvari dobivena je nakon filtriranja pod sniženim tlakom 100 mL uzorka vode i sušenjem filter papira na 103 – 105 °C do konstantne mase.

Ukupna tvrdoća je određena titracijom s kompleksonom III (EDTA). 50,00 mL uzorka vode uz dodatak od 2 mL pufera ($\text{pH}=10$) i malo krutog indikatora (Eriochrom crno T) titriра se otopinom kompleksona III do promjene boje iz crvene u plavu.

Sadržaj kloridnih iona određen je Mohrovom metodom - titracijom sa standardnom otopinom srebro-nitratom uz kalij-kromat kao indikator koji u završnoj točki titracije reagira sa srebro-nitratom gradeći crvenosmeđi talog Ag_2CrO_4 . Titracije se izvode u otopinama čiji je pH 6,5-10,0.

Sadržaj kalcija u vodi određen je titracijom s EDTA uz dodatak indikatora mureksida-K i 1 ml otopine pufera do promjene boje iz crvene u purpurnu. Titracija je provodena nakon 5 minuta od dodavanja puferske otopine.

Sadržaj magnezija određen je računski, od ukupne tvrdoće, izražene u njemačkim stupnjevima oduzet je udio kalcija izražen u njemačkim stupnjevima, a razlika je pomnožena sa $MgO/CaO = 7,19$.

REZULTATI I RASPRAVA

Analiza vode za piće obuhvaća organoleptičke, fizikalno-kemijske i mikrobiološke analize. Zdravstveno ispravnom vodom za piće smatra se voda koja ne sadrži mikroorganizme, (parazite i njihove razvojne oblike u broju koji predstavlja opasnost za zdravlje ljudi), štetne tvari (u koncentracijama koje ne predstavljaju opasnost za zdravlje ljudi) i voda kod koje vrijednosti parametara zdravstvene ispravnosti vode ne prelaze vrijednosti propisane Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (Službeni glasnik BiH, broj 40/10).

Provedenom fizikalno-kemijskom analizom obuhvaćeni su parametri koji su neophodni za ovakvu vrstu istraživanja i to: pH, električna vodljivost, isparni ostatak, suspendirane tvari, sadržaj klorida, oksidativnost, ukupna tvrdoća, sadržaj Ca i sadržaj Mg. Dobiveni rezultati prikazani su u zasebnoj tablici za svaku općinu (tablice 1-7). Istraživani parametri su izravno vezani za strukturu i građu tla kroz koje voda prolazi, konstantni su u vremenu, a mogu se dovesti u vezu sa zdravstvenim poteškoćama, a prije svih sa kardiovaskularnim bolestima.

Tablica 1. Fizikalno-kemijski parametri analize vode za piće grada Mostara (Bijeli brijeg).

Parametar	Jedinica mjere	Vrijednosti mjerena	Metoda
pH	pH jedinice	7,30	Potenciometrija
El. Provodnost	uS/cm	370	Potenciometrija
Isparni ostatak	mg/L	200	Gravimetrija
Suspendirane tvari	mg/L	35	Gravimetrija
Sadržaj klorida	mg Cl-/L	21,45	Volumetrija
Oksidativnost, potrošnja KMNO4	mg O2/L	4,5	Volumetrija
Tvrdoća vode			
Ukupna tvrdoća	mg CaCO3/L	266,6	Volumetrija
	°nj (°d)	14,89	
Sadržaj kalcija	mg CaO/L	111,48	Volumetrija
	°nj (°d)	11,15	
Sadržaj magnezija	mg MgO	26,91	Volumetrija

Tablica 2. Fizikalno-kemijski parametri analize vode za piće grada Čapljine.

Parametar	Jedinica mjere	Vrijednosti mjerena	Metoda
pH	pH jedinice	7,40	Potenciometrija
El. Provodnost	uS/cm	434	Potenciometrija
Isparni ostatak	mg/L	300	Gravimetrija
Suspendirane tvari	mg/L	20	Gravimetrija
Sadržaj klorida	mg Cl-/L	35,45	Volumetrija
Oksidativnost, potrošnja KMNO4	mg O2/L	4,9	Volumetrija
Tvrdoća vode			
Ukupna tvrdoća	mg CaCO3/L	246,06	Volumetrija
	°nj (°d)	13,77	
Sadržaj kalcija	mg CaO/L	110,89	Volumetrija
	°nj (°d)	11,09	
Sadržaj magnezija	mg MgO	19,27	Volumetrija

Tablica 3. Fizikalno-kemijski parametri analize vode za piće grada Čitluka.

Parametar	Jedinica mjere	Vrijednosti mjerena	Metoda
pH	pH jedinice	7,48	Potenciometrija
El. Provodnost	uS/cm	350	Potenciometrija
Isparni ostatak	mg/L	200	Gravimetrija
Suspendirane tvari	mg/L	30	Gravimetrija
Sadržaj klorida	mg Cl-/L	35,4	Volumetrija
Oksidativnost, potrošnja KMNO4	mg O2/L	4,8	Volumetrija
Tvrdoća vode			
Ukupna tvrdoća	mg CaCO3/L	220	Volumetrija
	°nj (°d)	12,32	
Sadržaj kalcija	mg CaO/L	98	Volumetrija
	°nj (°d)	9,8	
Sadržaj magnezija	mg MgO	18,11	Volumetrija

Tablica 4. Fizikalno-kemijski parametri analize vode za piće grada Livna.

Parametar	Jedinica mjere	Vrijednosti mjerena	Metoda
pH	pH jedinice	7,24	Potenciometrija
El. Provodnost	uS/cm	364	Potenciometrija
Isparni ostatak	mg/L	300	Gravimetrija
Suspendirane tvari	mg/L	40	Gravimetrija
Sadržaj klorida	mg Cl-/L	55,99	Volumetrija
Oksidativnost, potrošnja KMNO4	mg O2/L	4,5	Volumetrija
Tvrdoća vode			
Ukupna tvrdoća	mg CaCO3/L	180	Volumetrija
	°nj (°d)	10,08	
Sadržaj kalcija	mg CaO/L	75,9	Volumetrija
	°nj (°d)	7,59	
Sadržaj magnezija	mg MgO	17,90	Volumetrija

Tablica 5. Fizikalno-kemijski parametri analize vode za piće grada Ljubuškog.

Parametar	Jedinica mjere	Vrijednosti mjerena	Metoda
pH	pH jedinice	7,12	Potenciometrija
El. Provodnost	uS/cm	380	Potenciometrija
Isparni ostatak	mg/L	250	Gravimetrija
Suspendirane tvari	mg/L	40	Gravimetrija
Sadržaj klorida	mg Cl-/L	41,76	Volumetrija
Oksidativnost, potrošnja KMNO4	mg O2/L	4,6	Volumetrija
Tvrdoća vode			
Ukupna tvrdoća	mg CaCO3/L	265	Volumetrija
	°nj (°d)	14,84	
Sadržaj kalcija	mg CaO/L	104,32	Volumetrija
	°nj (°d)	10,43	
Sadržaj magnezija	mg MgO	31,70	Volumetrija

Tablica 6. Fizikalno-kemijski parametri analize vode za piće grada Širokog Brijega.

Parametar	Jedinica mjere	Vrijednosti mjerena	Metoda
pH	pH jedinice	7,28	Potenciometrija
El. Provodnost	uS/cm	451	Potenciometrija
Isparni ostatak	mg/L	400	Gravimetrija
Suspendirane tvari	mg/L	40	Gravimetrija
Sadržaj klorida	mg Cl-/L	33,2	Volumetrija
Oksidativnost, potrošnja KMNO4	mg O2/L	4,9	Volumetrija
Tvrdoća vode			
Ukupna tvrdoća	mg CaCO3/L	249,04	Volumetrija
	°nj (°d)	13,94	
Sadržaj kalcija	mg CaO/L	109,66	Volumetrija
	°nj (°d)	10,96	
Sadržaj magnezija	mg MgO	21,47	Volumetrija

Tablica 7. Fizikalno-kemijski parametri analize vode za piće grada Posušja.

Parametar	Jedinica mjere	Vrijednosti mjerena	Metoda
pH	pH jedinice	7,04	Potenciometrija
El. Provodnost	uS/cm	342	Potenciometrija
Isparni ostatak	mg/L	200	Gravimetrija
Suspendirane tvari	mg/L	20	Gravimetrija
Sadržaj klorida	mg Cl-/L	28,33	Volumetrija
Oksidativnost, potrošnja KMNO4	mg O2/L	5,0	Volumetrija
Tvrdoća vode			
Ukupna tvrdoća	mg CaCO3/L	200	Volumetrija
	°nj (°d)	11,2	
Sadržaj kalcija	mg CaO/L	84,01	Volumetrija
	°nj (°d)	8,4	
Sadržaj magnezija	mg MgO	20,132	Volumetrija

Rezultati provedenih istraživanja pokazuju kako je pH vrijednost svih uzoraka nešto viša od 7, najniža u Ljubuškom pH 7,12 (tab. 5), a najviša u Čitluku pH 7,48 (tab. 3). Povećanje pH vrijednosti iznad 7 karakteristično je za vode koje protječu podlogama vapnenca i to ih čini blago bazičima. Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće [8] propisana pH vrijednost je od 6,5-9,5.

Električna provodnost je mjera ukupne količine otopljenih soli, odnosno sadržaja iona u vodi. Glavni faktori koji utječu na provodnost vode su: vrste prisutnih iona, koncentracije iona, pokretljivosti i nanelektrisanje iona. Temperatura utječe na provodnost i to oko 2 % na 1 °C. Najviša vrijednost električne provodnosti zabilježena je u Širokom Brijegu i iznosi 451 µS/cm

(tab. 6), a najniža u Posušju, 342 µS/cm (tab 7). Otopljeni ugljični dioksid povećava provodnost, međutim, taj utjecaj nije velik, a njegovo otklanjanje iz tvrde vode ne može se postići bez taloženja kalcijeva karbonata. Zbog toga se utjecaj ugljičnog dioksida zanemaruje pri analizi vode. Uzorci s niskom pH vrijednošću također pokazuju veliku provodnost zbog visoke ekvivalentne vodljivosti vodikovih iona.

Prema važećem Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće[8] propisana vrijednost električne provodnosti je do 2500 µS/cm pri temperaturi 20 °C.

Ostatak nakon isparavanja ili isparni ostatak čine sve tvari organskog i anorganskog porijekla koje ostaju nakon isparavanja vode i sušenja na temperaturi od 103-105 °C. Vode sa sadržajem ukupnih čvrstih tvari ispod 500 mg/L pogodne su za piće. Za sve ispitivane uzorke (tablice 1-7) dobivene su vrijednosti znatno ispod 500 mg/L s rasponom od 200 do 400 mg/L.

Većina voda u prirodi sadrže kloridne ione. Sa higijenskog gledišta voda za piće ne treba sadržavati više od 200 mg/L Cl⁻. Ukoliko je koncentracija veća, voda ima slan okus, a naročito ako voda sadrži i dosta Na⁺.

Prema Pravilniku[8] propisani sadržaj klorida u vodi za piće je 250 mg/L, a prosječno iznosi oko 30 mg/L. Od istraživanih uzoraka najniži sadržaj klorida zabilježen je u Mostaru (21,45 mg/L, tab. 1), a najviša vrijednost dobivena je pri analizi uzorka vode za piće iz Livna (55,99 mg/L, tab. 4).

Određivanje potrošnje KMnO₄ služi za brzo dobivanje podataka o zagađenosti vode organskim tvarima koje se mogu oksidirati. Ako voda sadrži organske tvari utrošit će se određena količina kalijeva permanganata za njihovu oksidaciju koja ovisi o količini organskih tvari u vodi, ali i njihovoj kemijskoj strukturi. Osim organskih, i neke anorganske tvari (npr. nitriti, dvovalentno željezo, sumpor(II)-vodik itd.) mogu se oksidirati s kalijevim permanganatom. Kalijev permanganat se reducira u kiseloj sredini s nekim organskim i anorganskim tvarima, a potrošnja kalijeva permanganata može se samo uvjetno uzeti kao mjerilo sadržaja organskih tvari u vodi. Prema važećem Pravilniku[8] maksimalan utrošak KMnO₄ je 5,0 mg/L i svi ispitivani uzorci zadovoljavaju to ograničenje.

Analiza dobivenih rezultata pokazuju kako se vrijednosti ukupne tvrdoće vode kreću u granicama optimalnih u svim gradovima, izuzev Livna (tab. 4) gdje je zabilježena nešto niže vrijednosti od optimalne (180 mg/L CaCO₃). Koncentracija kalcija ima znatno višu vrijednost od optimalne kod svih ispitivanih uzoraka. Prema dobivenim rezultatima koncentracija magnezija ima optimalno preporučenu vrijednost (20 – 30 mg/L) u: Mostaru, Širokom Brijegu i Posušju, a nešto viša od optimalne vrijednosti je u Ljubiškom (31,70 mg/L), dok je niža vrijednost od optimalno preporučene, ali znatno viša od minimalne, dobivena u: Čapljini (19,27 mg/L), Čitluku (18,11 mg/L) i Livnu (17,90 mg/L) [9].

Iako je u mnogim istraživanjima utvrđen pozitivan odnos između tvrdoće vode i pojave kardiovaskularnih bolesti ne može se jednoznačno zaključiti kako su tvrdoća vode, odnosno kalcij i magnezij jedini, odnosno presudni čimbenici rizika, ali bi se zajedničkim programom laboratorijsko-epidemioloških istraživanja na širem području BiH uz pomoć kemijske analize mogla odrediti povezanost sastava vode za piće sa zdravstvenim poteškoćama.

ZAKLJUČAK

Analizirane vode Hercegbosanske, Hercegovačko-neretvanske i Zapadno-hercegovačke županije spadaju u srednje tvrde do tvrde vode, ($UT = 180 - 266 \text{ mg/L CaCO}_3$, odnosno $10,08 - 14,89 \text{ °nj}$) bogate su mineralima, posebno kalcijem ($75,90 - 111,48 \text{ mg/L}$) i magnezijem ($17,90 - 31,70 \text{ mg/L}$). Fizikalno-kemijska svojstva vode, odnosno vrsta i količina mineralnih tvari otopljenih u vodi ovise o geografskim značajkama tla. Brojna epidemiološka istraživanja ukazuju na povezanost tvrdoće vode sa pojavom kardiovaskularnih bolesti, te ukazuju kako tvrda voda djeluju protektivno i štiti od kardiovaskularnih bolesti.

LITERATURA

- [1] M. Tomljanović, Anorganska kemija, Hijatus, Zenica, 2004.
- [2] I. Mijatović, M. Matošić, *Tehnologija vode*, Interna skripta, Zagreb, Prehrambeno-biotehnološki fakultet.
- [3] B. Vučijak, A. Čerić, I. Silajdžić, Voda za život: Osnove integralnog upravljanja vodnim resursima, Sarajevo, UNDP, 2011.
- [4] I. Filipović, S. Lipanović, Opća i anorganska kemija, II dio, Školska knjiga Zagreb, 1995.
- [5] W. Kölle, Wasseranalysen - richtig beurteilt, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA Weinheim, 2003.
- [6] R. Rylander, Drinking water constituents and disease, *J. Nutr.* **138** (2008) 423–425
- [7] N. Jelić-Knezović, M. Memić, M. Mabić, J. Huremović, I. Mikulić, Correlation between water hardness and cardiovascular diseases in Mostar city, Bosnia and Herzegovina, *J Water Health.* **12(4)** (2014) 817-823.
- [8] Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, Službeni glasnik BiH, 40/10
- [9] Rubenowitz, E., Molin, I., Axelsson, G., Rylander, R. (2000), Magnesium in drinking water in relation to morbidity and mortality from acute myocardial infarction. *Epidemiology.* **11**, 416–421.

DETERMINATION OF GROSS ALPHA AND BETA ACTIVITY AND URANIUM ISOTOPE CONTENT IN SPRING WATERS

Nuhanović M.^{1*}, Mulić M.¹, Mujezinović A.¹, Vidić A.², Ilić Z.²

¹ University of Sarajevo, Faculty of Science, Department of Chemistry, Zmaja od Bosne 33-35, 71000 Sarajevo,

Bosnia and Herzegovina

² Institute for Public Health of FBiH, M.Tita 9, 71000 Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

Abstract: Determination of content (active concentration) of radionuclides in recent times has become an indispensable part of the study dealing with the protection of environment. In addition to physical, chemical and microbiological safety of drinking water, determination of presence and quantity of radionuclides, primarily uranium and radium, is being frequently included in standard procedures for drinking water quality testing. Surface waters, and in particular ground waters, play a major role in radionuclide migration in the Earth's crust. This paper determines gross alpha and beta activity, activity concentration of uranium isotopes and $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratio in five samples of drinking spring water in Olovno area (BIH). Activity concentration of uranium isotopes was measured with alpha spectrometry, while gross alpha-beta activity was measured by low level gas-flow proportional alpha beta counter. Results of the research show that the radioactivity of the tested waters is relatively low and within the limits recommended by the World Health Organization.

Keywords: Uranium isotopes; activity concentration; gross alpha and beta activity; electrodeposition;

Alpha spectrometry

INTRODUCTION

Water is the most widely present chemical compound on Earth, an important element of all living organisms and necessary for their life. Approximately 70% of total Earth's surface is covered with water. Chemical composition and content of substances in natural waters is not constant but rather constantly varies to a larger or smaller degree. Radiological control of water, in addition to other physical, chemical and microbiological tests, is necessary due to its importance for human life and the need for minimum exposure to radiation. As opposed to many other natural phenomena, ionizing radiation is a phenomenon for which humans have not developed any senses, although we encounter it on daily basis. Radioactive substances present in water originate from natural sources, as a result of leaching from soil, and from artificial sources such as factories, inappropriately stored waste, etc. (Blaise et al., 2003).

Uranium is a naturally occurring radioactive element. It is composed of three isotopes: U-238 (99%), U-235 (0.71%), U-234 (0.006%). All three isotopes are alpha emitters. It is chemically very active. It reacts with water and oxidizes when exposed to air and it is covered with a layer of oxide. Due to its reactivity, it is usually found in

nature in the form of its oxides. Uranium quickly combines with other elements and forms silicates, carbonates and hydroxides (*Rajković et al., 2001*). Uranium concentration in water depends from its dissolution from the surrounding soil, where the type of soil has an important influence.

In addition to that, the solubility of uranium is also affected by the pH value of the environment, redox potential, temperature, humidity and presence of organic and inorganic substances. Oxidizing environment and high pH values of the environment favor dissolution of uranium resulting in its larger quantities in ground and surface waters (*Blaise et al., 2003; Rajković et al., 2001*). Surface waters, and in particular ground waters, play a major role in radionuclide migration in the Earth's crust. Contamination of ground and surface waters has been identified as the major issue for long-term research. Size and chemical characteristics of particles, as well as local and geochemical and hydrogeological characteristics, have a decisive influence on uranium migration.

The aim of this study is to determine gross alpha and beta activity and content (activity concentration) of uranium isotopes in five samples of untreated spring water from five different location in the Olov town area (BIH).

EXPERIMENTAL

Water was sampled from five springs used by local households. Sampling was done in March 2015. Collected non-acidified samples were transferred to the laboratory within 24 hours, where they were measured for conductivity and dry residue was determined for each sample (350°C).

Gross alpha and beta activity was determined by standard methods from ISO9696 or ISO9697.1 mL of concentrated H₂SO₄ was added to each 1 L sample aliquot. The aliquots were then evaporated to dryness. The obtained dry residue was transferred to pre-weighed crucibles. These samples were calcined in the calcinator at the temperature of 350°C. The calcinated residue was homogenized and 100 mg was transferred to a 5 cm diameter planchet for measurement. Gross alpha-beta activity was measured by the gas-flow proportional counter MPC-9604, Protean Instruments Corporation, for 84600 seconds. Efficiency for gross alpha activity was 7.6% and 38.6% for gross beta activity.

Activity concentration of uranium isotopes was determined by alpha spectrometry. Approximately 1 L of each water sample was taken and the liquid was weighed in glasses of known mass. Each sample was acidified with 1 mL concentrated HNO₃ and known mass of U-232 tracer was added. Uranium was precipitated with CaCl₂ and (NH₄)₂HPO₄ according to the Eichrom procedure (*Eichrom Technologies Inc., 2001*). Several mL of NH_{3(aq)} were then added to each sample and heated for 20 minutes until deposition formed, which was obvious from the white turbidity of the sample. The liquid above the deposition was decanted, and several mL of 8M HCl were added to the deposition to dissolve it. Uranium was separated from interfering elements by passing it through an anion exchange column, DOWEX 1x8, Cl- form, 100-200. After thorium isotopes were removed with 45 mL 8M HCl, uranium was eluted with 15mL 0.5M HCl. The samples were prepared for measurement by electrodeposition and were measured for 2 hours at 1.2 A amperage according to HASL-300 procedure (*DOE EML, 1997*). The measurement was performed by alpha spectrometer Alpha Analyst, Canberra, equipped with silicon detectors (PIPS) with 450 mm² active surface. Sample counting time was 172800 seconds, and the chemical yield was 15-96%. Lower limit of

detection was $0.717\text{-}3.69 \text{ mBq/L}$ ^{238}U , $0.0897\text{-}0.222 \text{ mBq/L}$ ^{235}U , and $0.269\text{-}5.45 \text{ mBq/L}$ for ^{234}U . The results are reported with combined standard uncertainty with coverage factor 1.

The tested samples of spring water were tested for gross alpha and beta activity, including an isotopic analysis of uranium. Results of the analyses of tested samples are shown in Tables 1, 2 and 3.

Table 1.Gross alpha and beta activity of analyzed samples of spring water

Water samples	Gross alpha activity	Gross beta activity
	(Bq/g)	(Bq/g)
1	0.011	0.281
2	0.362	4.390
3	0.044	0.068
4	0.009	0.075
5	0.036	0.023

According to the Rulebook on Sanitary Quality of Drinking Water (Official Gazette of BIH, No.40/10) and recommendations of the World Health Organization (WHO, 2011), permissible level of gross α -activity is 0.5 Bq/g , and permissible level of gross β -activity is 1 Bq/g . The obtained results show that gross α -activity of tested samples ranges from 10^{-3} to 10^{-1} , while gross β -activity ranges from 10^{-2} to 4.3 . Sample 2 shows increased gross alpha and beta activity (0.3 and 4.3 , in series). This increase of alpha and beta activity in this water sample indicates an increased content of radionuclides.

The highest gross alpha activity was registered in sample No. 2, while the lowest alpha activity was registered in sample 4. The highest gross beta activity was registered in sample No. 2, while the lowest activity was registered in sample No. 5.

Table 2. Results from alpha spectrometry of samples of spring water

Water samples	A(^{238}U) (Bq/L)	A(^{235}U) (Bq/L)	A(^{234}U) (Bq/L)	Activity ratio $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$
1	$7.17\cdot10^{-4}$	$8.97\cdot10^{-5}$	$2.69\cdot10^{-4}$	0.375
2	$9.70\cdot10^{-4}$	$1.94\cdot10^{-4}$	$1.94\cdot10^{-3}$	2.0
3	$3.69\cdot10^{-3}$	$9.08\cdot10^{-5}$	$5.45\cdot10^{-3}$	1.477
4	$2.16\cdot10^{-3}$	$2.22\cdot10^{-4}$	$2.76\cdot10^{-3}$	1.277
5	$2.28\cdot10^{-3}$	$6.00\cdot10^{-4}$	$2.76\cdot10^{-3}$	1.210

According to the Guidelines for drinking water quality – World Health Organization (*WHO, 2011*), permissible level of activity concentration (content) of uranium isotopes in water is as follows: for ^{238}U , ^{235}U and ^{234}U , 10 Bq/kg, 1 Bq/kg and 1 Bq/kg, in series.

Therefore, the concentration of these uranium isotopes in all five analyzed samples of natural spring water is within the limits recommended by the WHO.

$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ratio in natural waters is most frequently 1-2, and extreme values of 0.5 - 30 have been reported (*Cowart and Osmond, 1980*). Activity ratio in this study varies from 0.375 to 2.0. $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratio value larger than 2 generally indicates a more intensive solid to liquid phase transition than normal and/or transition to liquid phase in slow moving waters, while the value lower than 1 generally indicates less intensive dissolution, or contact with fast moving waters.

Table 3. Results for dry residue and conductivity of analyzed samples of spring water

Water samples	V (mL) of sample	m (g) dry residue after drying at 105 °C	m(g) dry residue after annealing at 350°C	Conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1	1000	0.2705	0.2511	420
2	1000	0.2168	0.1910	360
3	1000	0.2221	0.2067	370
4	1000	0.2313	0.1899	500
5	1000	0.1108	0.0782	380

The analyzed waters have relatively low values for dry residue and specific conductivity which indicates that they are untreated waters. Lack of correlation is usually connected with different origin and different chemical composition of waters.

CONCLUSIONS

The analysis of five samples of natural spring water from the Olovo area for content of uranium isotopes and gross alpha and beta activity has been successfully conducted. After the processing of data obtained for the tested parameters and their preliminary consideration, we obtained data on radiological quality of the tested samples of spring water.

According to the Rulebook on Sanitary Quality of Drinking Water (Official Gazette of BIH, No.40/10) and recommendations of the World Health Organization (*WHO, 2011*), permissible level of gross α -activity is 0.5 Bq/g, and permissible level of gross β -activity is 1 Bq/g. The obtained results indicate that the order of magnitude of gross α -activity of tested samples is from 10^{-3} to 10^{-1} Bq/g, and gross β -activity from 10^{-2} Bq/g. to 4.3 Bq/g. Sample 2 shows increased gross alpha and beta activity (0.3 and 4.3, in series). It is possible that this increase of alpha and beta activity in this water sample indicates the presence of some other alpha and beta emitters and the need determination of radionuclides, primarily radium and strontium isotopes.

According to the World Health Organization (WHO, 2011), permissible level of activity concentration (content) of uranium isotopes is as follows: 10 Bq/kg for ^{238}U , 1 Bq/kg for ^{235}U and 1 Bq/kg for ^{234}U . Activity concentrations of all five tested samples are within the limits recommended by the World Health Organization.

The analysis showed that water samples 1, 3, 4 and 5 are radiologically safe, i.e. that they are not harmful to human health and environment. Sample 2 shows increased gross alpha and beta activity, therefore a detailed analysis of radioactivity is required for use in households.

REFERENCES

- Bleise, A., Danesi, P. R., Burkart, W. (2003). *Journal of Environmental Radioactivity* 64(2-3): 93-112.
- Cowart, J.B.,Osmond, J.K. (1980).*Earth Planet. Sci. Lett.*48: 277-283.
- DOE EML Procedures Manual HASL-300, (1997).1(28)
- Eichrom Technologies Inc. (2001). Analytical Procedures-Uranium and Thorium in Water-ACW03 Version 1.7
- ISO9696:2007, Water quality -- Measurement of gross alpha activity in non-saline water -- Thick source method.
- ISO9697:2008, Water quality -- Measurement of gross beta activity in non-saline water -- Thick source method.
- Rulebook on Sanitary Quality of Drinking Water (Official Gazette of BIH, No. 40/10).
- Rajković M. B. (2001). *Hem. Ind.* 55: 167 – 182.
- World Health Organization (WHO).(2011). Guidelines for drinking-water quality, 4th Ed.

Corresponding author:

E-mail: mirza.n@pmf.unsa.ba
Tel: +387/33/279-865

TROPHIC STATE OF THE BLIDINJE LAKE BASED ON PHYSICO-CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF WATER

A. Ivanković¹, E. Velagić Habul², D. Hafner³

¹Faculty of Agronomy and Food Technology, University of Mostar, Biskupa Čule bb, Mostar, B&H

²Agricultural and Food Science Faculty, University of Sarajevo, Zmaja od Bosne 8, Sarajevo, B&H

³Faculty of Science and Education, University of Mostar, Matice hrvatske bb, Mostar, B&H

ABSTRACT

Blidinje Lake with area of around 3.2 km² is the biggest mountain lake in Bosnia and Herzegovina. It is located at an altitude of 1185 m. The lake is very shallow with an average depth of about 0.5 m (max. 6.4 m), and under the strong influence of meteorological conditions. The Lake has variable volume and surface area. Lake Blidinje is an integral part of the Nature Park Blidinje founded 1995.

The aim of this study was better knowledge of Lake Blidinje, bearing in mind the need to preserve the environment, defining status of trophy, putting the data into the function of protecting the lake, to prevent its further degradation, promote its sustainable management, contributed to the protection of the wider area. This paper presents data on physico-chemical and biological characteristics of lake water in the period from May to November, period without ice cover. This study was preceded by a two year (May-November) investigation of chlorophyll *a* concentrations. Water was sampled at five stations in the lake's border. The following parameters were measured: temperature, dissolved oxygen, oxygen saturation, pH, total dissolved solid (TDS), Secchi disc depth (transparency), turbidity, suspended matter, conductivity, hardness, alkalinity, acidity, concentrations of nitrite (NO₂⁻), nitrate (NO₃⁻), ammonium NH₄⁺, total nitrogen (TN), SO₄²⁻, Fe, SiO₂, PO₄³⁻, total phosphorous (TP), chlorophyll *a* concentrations, structure and abundance of phytoplankton and phytobenthos. Data were statistically analyzed.

KEY WORDS: mountain lake; Blidinje Lake; Bosnia and Herzegovina; chemical composition of water; eutrophication

INTRODUCTION

Blidinje Lake, with an area of 3.2 km² (Šimunović and Bognar 2005), is the biggest mountain lake in Bosnia and Herzegovina (Spahić 2001) (Fig. 1). The lake is highly variable in volume and surface area. The literature reports Blidinje Lake's area as ranging from 2.5 km² (Slišković et al. 2005) to 6.05 km² (Razdorov et al. 1990, Šimunović and Bognar 2005, Slišković et al. 2005). The lake is located at an altitude of 1185 m (N 43°36'; E 17°29'). It is very shallow with an average depth of from 0.3 m (Spahić 2001) to 1.9 m (Slišković et al. 2005, Šimunović and Bognar 2005), and is under the strong influence of meteorological conditions. Duration of ice cover depends on weather conditions, but the average duration is four to five months. Blidinje Lake is an integral part of the Nature Park "Blidinje" founded in 1995. The aim of this study was to increase knowledge of Blidinje Lake (including defining its trophic status), to prevent its further degradation, promote its sustainable management, and contribute to the protection of the wider area.



Figure 1. Map of Bosnia and Herzegovina showing the location of Blidinje Lake and sampling location

MATERIALS AND METHODS

Samples were taken at the surface at five locations along the shore of the lake. Water sampling from the surface was adequate due to the fact that shallow lakes are frequently mixed and nonstratified (Rocha et al. 2009). Water samples were taken fortnightly during the period from May to November during 2008. Physico-chemical analyses were carried out using standard methods (APHA 1998). Accuracy of each method is prescribed by the APHA methodology. Temperature, dissolved oxygen (DO), oxygen saturation, pH, electric conductivity (CND), total dissolved solids (TDS) (using WTW Multi-Parameter Instruments) and Secchi depth (using a Secchi disc) were measured directly at the sampling sites. A UV-VIS spectrophotometer (Shimadzu) was used for analyzing phosphates, total phosphorous ($\lambda = 690$ nm) and inorganic nitrogen: nitrites ($\lambda = 543$ nm), nitrates ($\lambda = 220$ nm) and ammonium ($\lambda = 630$ nm). Other chemical parameters were analyzed using a portable (HACH DR/2010) spectrophotometer. Total nitrogen was determined by the Kjedahl-method (Gerhardt). Water samples for determination of chlorophyll *a* were collected fortnightly from May to November over three years (2006, 2007, and 2008). The content of chlorophyll *a* was determined by the fluorometric method (TURNER TD-700, Sunnyvale, CA) at wavelength 365 nm using 90% acetone as the extracting solvent (Jeffrey et al. 1997).

Physico-chemical parameters were analyzed using the following statistical tests:

- Pearson correlations for determining the significance of relations between certain parameters.
- ANOVA - Sampling locations were compared with each other using the analysis of variance for all parameters and concentrations of chlorophyll *a*, depending on the year of sampling.
- Multiple regression analysis - Using multiple regression analysis it is possible to predict future states and dynamics of the system according to Rigler (1982), Rigler and Peters (1995), Attayde and Bozelli (1998), Gomes and Miranda (2001) and Pace (2001).

In multiple regression analyses the dependent variable was chlorophyll *a*, and the independent variables were:

- Transparency and concentration of total phosphorus as well as variables that describe the chlorophyll *a* trophic status of the lake.

- SO_4^{2-} , Fe, NH_4^+ , temperature, hardness, PO_4^{3-} filtered samples (dissolved reactive phosphorus), N/P ratio by Redfield. All abiotic parameters were taken as independent variables, and then gradually left out variables that had the lowest statistical significance. Last seven variables have a statistically significant effect on chlorophyll *a*.
- Temperature, Fe, SiO_2 , pH, TN/TP filtered samples. All abiotic parameters that have a statistically significant correlation ($p < 0.05$, $p < 0.01$) with chlorophyll *a* using Pearson correlation index are taken as independent variables in the first step. Then variables that did not show a statistically significant correlation with chlorophyll *a* in the multiple regression method were gradually omitted until only these five variables remained, all of which have a statistically significant impact on chlorophyll *a*.

Data were analyzed using SPSS 13 (Statistical Package for the Social Sciences).

RESULTS AND DISCUSSION

When analyzing the results it is necessary to note that the ice cover is not studied in this work. Blidinje Lake is a shallow mountain lake with turbid water, which varies throughout the day depending on wind direction and speed. At different locations there are different micro-conditions and it is possible to get different values of the same variables at the same time. Even quite steady and uniform variables such as electrical conductivity can vary in some places from 20 to 50%. Daily differences in temperature (Fig. 2) and dissolved oxygen (Fig. 3) between locations are shown graphically.

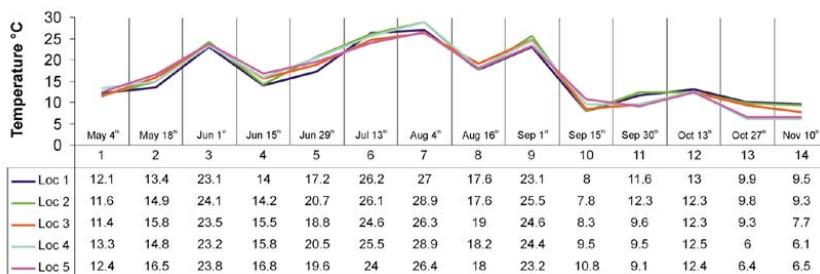


Figure 2. Variation of temperature between locations

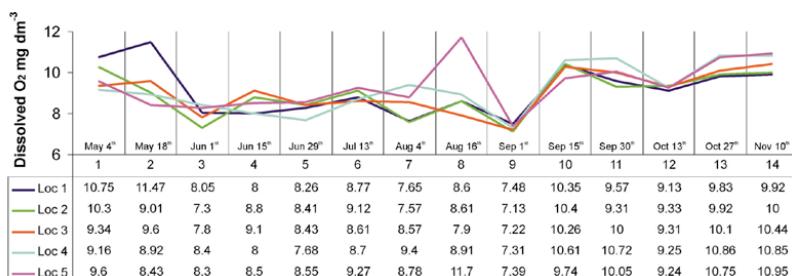


Figure 3. Variation of dissolved oxygen between locations

Temperature had no consistent trend over the study period, but the values oscillated. This situation is not surprising considering that this is a very shallow lake strongly influenced by air temperature and wind, as noted by some other authors (Brancelj et al. 2002, Dobson and Find 2008).

The lowest oxygen saturation amounted to 66.9% with a maximum of 150% in the same day. A difference of 44.9% at two locations in the same day was recorded, which can be explained by the strong impact of wind and waves on the oxygen saturation. Water temperature and dissolved oxygen were negatively correlated (solubility of gases in water; $r = -0.748$, $p < 0.01$).

In this study, no correlation was found between temperature and electrical conductivity ($r = 0.086$) because the lake has very low and fairly uniform electrical conductivity, probably because most of the water comes from melted snow, as other authors have demonstrated for similar mountain lakes (e.g. Brancelj et al. 2002).

pH is slightly alkaline with an average value of 8.14 (median 8.19; std. dev. 0.35), with fairly uniform values recorded throughout the study. Uniform and slightly alkaline pH values indicate oligotrophic status of the lake. Brancelj et al. (2002) provide other examples of mountain lakes in the southeastern Alps with similar limestone geology, as described by Spahic (2001) for Blidinje Lake.

Most of the measured values of chlorophyll *a* in all three years show the oligotrophic status of the lake according to OECD (1982) and Dobson and Find (2008) (Table 1, Figure 4). According to Carlson (1977) the amount of chlorophyll *a* fits oligotrophic/mesotrophic waters.

Table 1. Comparative table limit values of parameters that describe the trophic status of lakes according to different authors and the values obtained in the Blidinje Lake

Author	Carlson 1977				OECD 1982				Dobson and Find 2008			
Trophic status	Chla (ug dm ⁻³)	SD (m)	TP (mg dm ⁻³)	mean TP (mg dm ⁻³)	mean chla (ug dm ⁻³)	max. chla (ug dm ⁻³)	min. SD (m)	TP (mg dm ⁻³)	mean chla (ug dm ⁻³)	max. chla (ug dm ⁻³)	min. SD (m)	max. SD (m)
Ultra-oligotrophic								<0.004	<1	<2.5	>12	>6
Oligotrophic	<0.9	>8	<0.00	< 6	< 0.01	< 2.5	< 8	> 6	> 3	0.004-0.01	1-2.5	2.5-8
/mesotrophic	5									6-12		3-6
Oligotrophic /mesotrophic	0.95-2.6	8.4	0.006-0.012									
Mesotrophic	2.6-7.3	4.2	0.012-0.024	— 0.03	2.5 - 8	8 - 25	6 - 3	3 - 1.5	0.01-0.035	2.5 - 8	8-25	3-6
				0.01 5								1.5-3
Mesotrophic /eutrophic												
Eutrophic	7.3-20	2-1	0.024-0.048	> 0.03	> 8	> 25	< 3	< 1.5	0.035-0.1	8-25	25-75	1.5-3
/hypertrophic	20-56	0.5-1	0.048-0.096									
Hypertrophic	56-155	0.25- 0.5	0.096- 0.192						>0.1	>2 5	>75	<1.5
												<0.7
Blidinje Lake												
TP (mg dm ⁻³)				Chla(ug dm ⁻³)				SD (m)				
min	max	mean	min	ma x	mean	min	max	min	max	mean		
0.01	0.25	0.08	0.24	2.73	1.15	0.1	0.5	0.23				

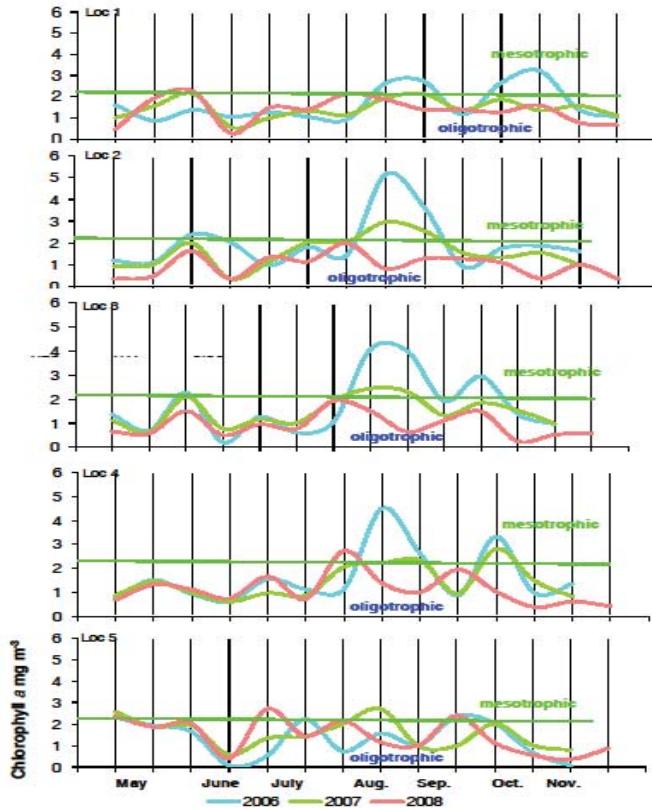


Figure 4. Seasonal variations of chlorophyll *a* at different sampling locations during 2006, 2007 and 2008 years. Limit degrees of trophic status according OECD (1982) and Dobson and Find (2008) classification

Analysis of variance was performed for values of chlorophyll *a*, depending on years of sampling, and showed no statistically significant differences in the concentrations of chlorophyll *a* between the years 2006, 2007, and 2008.

In multiple regression analysis the dependence of chlorophyll *a* concentration of total phosphorus and transparency showed that the relationship between these parameters is weak ($R = 0.341$), while the coefficient of multiple determination ($R^2 = 0.116$) showed that only 11.6% of the variance of chlorophyll *a* was explained by concentration of total phosphorus and transparency. Thus, this model can not be considered representative even though the total phosphorus, transparency and chlorophyll parameters describe the trophic status of Blidinje Lake.

Multiple regression analysis where the dependent variable is chlorophyll *a* concentrations and independent variables are SO_4^{2-} , Fe, NH_4^+ , water temperature, hardness, dissolved reactive phosphorus, N/P ratio (Redfield's) showed that the relationship between these parameters is very strong ($R = 0.849$), while the coefficient of multiple determination ($R^2 = 0.720$) showed that 72% of the variance of chlorophyll *a* concentrations is explained by the above mentioned independent variables. Therefore, this model can be considered as representative. Individual testing of the significance of the regression model showed that all selected independent variables have a statistically significant effect on the concentration of chlorophyll *a* (Table 2a-b). The relationship between sulfate and hardness as independent variables and chlorophyll *a* as a dependent variable were inversely proportional, while the relationship between other independent variables of this model and the chlorophyll *a* were directly proportional. An inversely proportional relationship with chlorophyll *a* and sulfate does not necessarily mean that sulfates affect the concentration of chlorophyll *a* concentrations because the sulfate is higher in the spring after the melting of snow regardless of the chlorophyll. Also, the relationship between hardness and chlorophyll *a* can be interpreted as a coincidence. The proportional relationship of orthophosphate and ammonium to chlorophyll *a* is expected.

Table 2. Multipleregression, dependentvariablechlorophyll *a*.independent variables: SO_4^{2-} , Fe, NH_4^+ , temperature, hardness, PO_4^{3-} filtered samples(dissolved reactivephosphorus), N/Pratio(Redfield)

a)

Model	R	R^2	Adjusted	Std. Error of the Estimate
			R^2	
1	0.849	0.720	0.670	0.36331

b)

Model	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients		t	Sig
	B	Std. Error	Beta			
1 (Constant)	-0.179	0.466			-0.384	0.703
SO_4^{2-}	-0.067	0.030	-0.257	-2.224	0.032	
Fe	0.418	0.169	0.248	2.470	0.018	
NH_4^+	1.779	0.596	0.327	2.987	0.005	
Temperature	0.084	0.010	0.923	8.752	0.000	
Hardness	-0.018	0.006	-0.262	-2.770	0.009	
PO_4^{3-} filtered	23.354	11.486	0.237	2.033	0.049	
N/P ratio (Redfield)	0.003	0.001	0.272	2.602	0.013	

Multiple regression analysis where the dependent variable is chlorophyll *a* concentration and the independent variables are Fe, SiO_2 , pH, and the TN/TP ratio of filtered water samples showed that the relationship between these parameters is strong ($R = 0.705$), while the coefficient of multiple determination ($R^2 = 0.497$) showed that 49.7% of the variance of chlorophyll *a* concentrations can be explained by the above mentioned independent variables. Therefore, this model can be considered as representative. Individual tests of the significance of the regression

model showed that all selected independent variables have a statistically significant effect on the concentration of chlorophyll *a* (Table 3a-b). The relationship between the TN/TP ratio of filtered samples as independent variables and chlorophyll *a* as the dependent variable is inversely proportional, while the relationship between other independent variables of this model and chlorophyll *a* are proportional. SiO₂ has a proportional relationship with chlorophyll *a* as expected, since SiO₂ can be a limiting nutrient for diatoms' growth.

Both the representative models of multiple regression analysis showed, as expected, that the temperature is proportional to chlorophyll *a*. Fe also has a proportional relationship with chlorophyll *a* in both representative models of multiple regression, because iron is necessary for the synthesis of chlorophyll as well as micronutrients.

Table 3. Multipleregression, dependentvariablechlorophyll *a*.independent variables:SiO₂, Fe, temperature, pH, TN/TPratio

a)

Model	R	R ²	Adjusted R ²	Std. Error of the Estimate
1	0.705	0.497	0.453	0.47476

b)

Model	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients		t	Sig
	B	Std. Error	Beta			
1 (Constant)	-3.744	1.540			-2.431	0.018
Temperature	0.039	0.009	0.413		4.082	0.000
Fe	0.534	0.186	0.273		2.879	0.006
SiO ₂	1.747	0.809	0.213		2.160	0.035
pH	0.527	0.194	0.263		2.722	0.009
TN/TP ratio fil	-0.003	0.001	-0.226		-2.235	0.029

The two representative models of multiple regressions can be used to predict the concentration predicting the concentration of chlorophyll *a* have already been described by certain authors (e.g. Rocha et al. 2009).

Phosphates of filtered samples were not recorded on several occasions during May, June, July and September. The maximum value was 0.03 mg dm⁻³. It is the only form of phosphorus available for algae photosynthesis. All values of dissolved reactive phosphorus corresponded to oligotrophic and mesotrophic lakes according some classifications (OECD 1992, Dobson and Find 2008).

Most values of total phosphorus match eutrophic waters (>0.035 mg dm⁻³) according to the OECD (1982) and the Dobson and Find (2008) classifications. According Brancelj et al. (2002), it is occasionally possible to find high values of total phosphorus, even in oligotrophic lakes. According to the concentration of total phosphorus the lake is mesotrophic/eutrophic, which does not correspond to the concentration of chlorophyll *a* on the basis that the lake is oligotrophic/mesotrophic. This is probably the result of large amounts of reactive phosphorus bonding to solid particles of suspended matter and thus inhibited to contribute to eutrophication. According to Scheffer (2004), total phosphorous is not the best choice for a parameter to use to classify the trophic status of shallow lakes where the sediment-water interactions are more intensive. The concentration of dissolved reactive phosphorus (SRP) strongly depends on the interaction of water and sediment. Understanding this interaction is crucial in understanding the dynamics of phosphorus in shallow lakes.

Transparency of the lake is extremely low, especially from June to September, and ranged from a minimum of 10 cm to a maximum of 50 cm. In earlier research transparency was 15 cm

(Spahić 2001). These values of transparency suggest a eutrophic/hypertrophic status for the lake. The other relevant parameters for trophic status are not in agreement. Suspended matter contributes more to reduced transparency than phytoplankton density. The correlation between transparency and suspended matter was very negative and statistically very significant ($r = -0.588$, $p < 0.01$), and transparency is expected to have a very negative and statistically significant correlation with turbidity ($r = -0.665$, $p < 0.01$). The correlation between transparency and chlorophyll *a* was negative but weak ($r = -0.341$, $p < 0.01$). This relationship between transparency and chlorophyll *a* is common in the limnology of shallow lakes of varying volume where the surface is strongly influenced by wind resuspension of sediment (Engel and Nicholas 1994).

Although macrophytes in the Blidinje Lake have not been systematically studied, it is evident that the lake is poor in macrophytes. According to Scheffer (2004) the lack of macrophytes contributes to turbidity, reduced transparency and increased sediment resuspension. Long, cold winters with ice cover also contribute to the lack of macrophytes in the Blidinje Lake.

During the investigation period it cannot be concluded that transparency is primarily dependent on the biomass of phytoplankton. It is, in fact, more influenced by weather conditions and wind. The presence of ammonia salts indicates recent water pollution, which is not unexpected since the lake is used to water up to 3000 sheep per day (Spahic 2001). The maximum values of nitrate (3.2 mg dm^{-3}), nitrite (0.04 mg dm^{-3}) and ammonia salts (0.45 mg dm^{-3}) correspond to a moderately eutrophic lake. Values of total nitrogen are high and the Blidinje Lake is phosphorus limited despite the fact that most of the phosphorus is in a form that is inaccessible for primary producers. Total nitrogen of filtered samples showed a strong correlation between the high level of 99% of the total inorganic nitrogen ($r = 0.553$, $p < 0.01$). Similar results are found in some previous studies of mountain lakes (Kamenik et al. 2001).

According to Johannessen and Henriksen (1978) sulphates in mountain lakes mainly originate from melted snow. These results were confirmed in this study. Sulphates showed a strong and significant positive correlation with alkalinity ($r = 0.703$, $p < 0.01$), which is consistent with similar studies (Barbieri et al. 2001), and a strong negative correlation with total nitrogen ($r = -0.566$, $p < 0.01$).

The total water hardness is fairly uniform. Alkalinity was slightly higher in spring than in summer. According Brancelj et al. (2002) lakes like Blidinje with a limestone geology have slightly higher alkalinity in spring.

Most values of the TN/TP ratio were greater than 7, indicating an oligotrophic status for the lake (Schindler 1977, Elser et al. 1990). According to these values the limiting factor of phytoplankton growth was phosphorus. In temperate zone lakes, phytoplankton growth is limited more by phosphorus than nitrogen (Schindler 1977, Elser et al. 1990, Diaz & Pedrozo 1996).

The N/P ratio ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4/\text{PO}_4$) ranged from 2 to 273, with most values exceeding Redfield's ratio of 16:1 (Redfield et al. 1963). The most limiting element in the growth of phytoplankton and phytobenthos in Blidinje Lake was phosphorus.

Forsberg and Ryding (1980) showed on a series of lakes that the TN/TP ratio negatively correlated with the chlorophyll *a* concentration. In this study, there was no correlation between TN/TP of filtered samples and chla ($r = -0.077$) while the TN/TP ratio of filtered samples showed a week negative correlation with chla ($r = -0.372$, $p < 0.01$).

According to results of the ANOVA test there were no significant differences between stations, although some differences were found in measured parameters during the same sampling days (Table 4). These results can be explained by the fact that the lake is influenced by diffuse pollution sources (cattle, air pollution, roads), and heavily influenced by climatic conditions, especially wind, which often mixes the water. Although at first glance the lake appears to be horizontally stratified according Dobson and Find (2008), analysis of variance did not confirm this.

Table 4. p-probability analysis of variance(ANOVA) at sampling stations

Parameter	p-probability	Parameter	p-probability
SO ₄ ²⁻	0.693	CND	0.386
Fe	0.482	TDS	0.259
NO ₃ ⁻	0.794	pH	0.829
NO ₂ ⁻	0.301	Hardness	0.999
NH ₄ ⁺	0.991	Acidity	0.827
SiO ₂	0.762	Alkalinity	0.779
Turbidity	0.677	TN(nf)	0.991
Secchi depth	0.865	TN(f)	0.971
Susp. matter	0.689	PO ₄ ³⁻ (nf)	0.868
Chla	0.689	PO ₄ ³⁻ (f)	0.234
Temperature	0.999	TP(nf)	0.747
Dissolved O ₂	0.885	TP(f)	0.750
Saturation O ₂	0.886	TN/TP(nf)	0.949

CONCLUSIONS

Wind, the geological background and mountain character are factors with special impact on the physical and chemical properties of the lake. The lake is shallow and exposed to wind causing very restrictive conditions for recreation and sport, except for fishing. Blidinje Lake has very low transparency, and is hypertrophic in terms of transparency, as other relevant parameters are not shown. Namely, the concentration of chlorophyll *a* and dissolved phosphate (the only form of phosphorus available to plants for metabolic processes) in the lake suggest that it is oligotrophic/mesotrophic. Concentrations of total phosphorus are high, suggesting eutrophic status, so there is a possibility of the release of phosphorus which is adsorbed on particles of suspended matter. Because it is a shallow lake this would change fast. Slowing down the process of eutrophication are factors such as altitude, the mountain climate and abundant rainfall.

Since the ANOVA test did not show statistically significant differences in the concentration of chlorophyll in 2006, 2007 and 2008, it can be concluded that there was no trend of increasing primary production.

Since the analysis of variance showed no statistically significant differences between sampling locations the authors' propose further sampling at the surface and bottom of the deepest part of the lake.

Assessment of water quality can be used for different purposes. For example, trophic status can be useful for warning, monitoring and forecasting, and sustainable development of the region. Potential data and information have specific relevance for forecasting models. The gradual accumulation of data from the monitoring of water quality will allow determination of the facts, from simple to very important additional information.

REFERENCES

- APHA (American Public Health Association)(1998), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, APHA, Washington, DC 20005-2605.
- Attayde, J. L. and Bozelli, R. L.(1998), Environmental heterogeneity patterns and predictive models of chlorophyll *a* in Brazilian coastal, Hydrobiologia (390) 1-3: 129-39.
- Barbieri, A., Mosello, R. and Simona, M. (2001), Chemical and biological features of a high altitude lake in the southern Alps (LaghettoInferiore, Switzerland), Lakes Reservoirs: Res. Manage., 49-61.

- Brancelj, A., Dobravec, J., Gaberščik, A., Gabroveč, M., Jačimović, R. et al.(2002), High-mountain Lakes in the Eastern Part of the Julian Alps, Brancelj Anton, Ist Edition,Založba ZRC, Ljubljana.
- Carlson, R.E.(1977), A trophic state index for lakes, Limnology and Oceanography, 22 (2): 361-369.
- Diaz, M. M. and Pedrozo, F. L.(1996), Nutrient limitation in Andean-Patagonian lakes at latitude 40- 41° S, Arch. Hydrobiol, 138: 123-43.
- Dobson, M. and Find, C.(2008), Ecology of Aquatic Systems, Second edition, Oxford University Presss, 203.
- Elser, J. J., Marzolf, E. R. and Goldman, C. R.(1990), Phosphorus and nitrogen limitation of phytoplankton growth in freshwaters of North America: a review and critique of experimental enrichment, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 47: 1468-77.
- Engel, S. and Nicholas, S.A.(1994), Aquatic macrophyte growth in a turbid windswept lake, J. Freshwat. Ecol., 9:97-109.
- Forsberg, C. and Ryding, S. O.(1980), Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes, Arch. Hydrobiol., 89:189-207.
- Gomes, LC. and Miranda, LE.(2001), Hydrologic and climatic regimes limit phytoplankton biomass in reservoirs of the upper Paraná river basin, Brazil, Hydrobiologia, (457)1-3:205-14.
- Jeffrey, S.W., Mantoura, R.F.C. and Wright, S.W.(1997), Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods, UNESCO Publishing, Paris, 661.
- Johannessen, M. and Henriksen, A.(1978), Chemistry of snow meltwater: Change in concentration during melting, Water. Resour. Res., 14: 615-19.
- Kamenik, Ch., Schimdt, R., Kum, G. and Psenner, R.(2001), The Influence of Catchment Characteristics on the Water Chemistry of Mountain Lakes, Arct. Antarct. Alp. Res., 33(4): 404-09.
- OECD(1982), Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control, Paris.
- Pace, ML.(2001), Prediction and the aquatic sciences, Can. J. Fish. Aquat. Sci., (58)1:63-72.
- Redfield, J. L., Ketchum, B. H. and Richards, F. A.(1963), The influence of organisms on the composition of seawater, In:Hil, M. N. (ed).The sea, Wiley, New York, 26-77.
- Rigler,FH.(1982), Recognition of the possible: an advantage of empiricism in ecology, Can. J. Fish. Aquat. Sci., (39)9:1323-31.
- Rigler, FH. and Peters, RH.(1995), Science and Limnology, OldendorfLuhe, Ecological Institute, 239.
- Rocha, RRA., Thomaz, SM., Carvalho, P. and Gomes, LC.(2009), Modeling chlorophyll- α and dissolved oxygen concentration in tropical floodplain lakes (Paraná River, Brazil), Braz. J. Biol., (69)2.
- Scheffer, M. (2004), Ecology of Shallow Lakes, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Schindler, D. W.(1977), Evolution of phosphorus limitation in lakes, Science, 195: 260-62.
- Slišković, I., Zelenika, M. and Kovač, L.(2005), Hydrogeology of Nature Park Blidinje and water protection, Ist International Scientific Symposium Blidinje 2005, Book of Papers, 75-92.
- Spahić, M.I.(2001), Natural lakes of Bosnia and Herzegovina; limnological monograph, Harfo-Graf, Tuzla, 99-105.

Šimunović, V. and Bognar, A.(2005), Geomorphological features of the Nature Park Blidinje,
Ist International Scientific Symposium Blidinje 2005, Book of Papers, 25-40.

KVALITET VODA RIJEKE SPREČE I ODGOVARAJUĆIH PRITOKA PRIJE ULIJEVANJA U AKUMULACIJU MODRAC

Almir Šestan¹, Aida Crnkić¹, Aldina Kesić¹, Nadira Ibršimović Mehmedinović¹,
Zorica Hodžić¹, Jasmina Dedić¹, Edina Huseinović¹

¹Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Tuzli, Univerzitetska 4, 75000 Tuzla, Bosna i Hercegovina

Prirodne vode su složeni sistemi koji sadrže materije u obliku jona i molekula, mineralna i organska jedinjenja u obliku koloida, suspenzija i emulzija. U vodi su rastvoreni gasovi koji ulaze u sastav atmosfere, a takođe i materije koje nastaju kao rezultat životnih aktivnosti vodenih organizama i procesa hemijske interakcije u samoj vodenoj sredini. Formiranje sastava prirodnih voda nastaje kao rezultat interakcije vode sa sredinom – mineralima, zemljištem i atmosferom. Urbanizacijom i razvojem industrije, poljoprivrede i stočarstva dolazi do stvaranja količina otpadnih voda koje se ispuštaju sa ili bez tretmana u površinske vode, uslijed čega raste zagadenost vodenih resursa čime se ograničava njihova upotreba. U okviru ovog istraživanja obuhvećena je fizičko-hemijska analiza uzorka vode sa 11 lokaliteta sliva rijeke Spreče i odgovarajućih pritoka, a prije ulijevanja u akumulaciju Modrac. Uzorkovanja i analize vode su izvršena u četiri godišnja doba na odabranim lokalitetima. Izvršena su *in situ* mjerena sljedećih parametara: temperature vode (°C), pH vrijednost, redoks potencijal (ORP), rastvoreni kisik (DO mg/L), provodljivost (µS/cm) i ukupne rastvorene materije (TDS ppm). Nakon dopremnja uzorka u laboratoriju određen je sadržaj organske materije, nitrita, amonijaka, fosfata, sulfata, HPK i BPK₅. Uzorkovanje i analize vode je izvršeno u četiri godišnja doba na odabranim lokalitetima. Vrijednosti određenih parametara su poređene sa važećom legislativom u Bosni i Hercegovini prilikom čega je konstatovano da li su odabrani vodotoci u okviru dodijeljene klase prema Uredbi o kategorizaciji voda.

Ključne riječi: fizičko-hemijski parametri; otpadne vode; teški metali; kategorizacija voda.

UVOD

Voda je najrasprostranjenija materija u prirodi i predstavlja osnovni uslov za opstanak svih živih bića na planeti. Kao najvrednija prirodna sirovina neophodna je za opstanak svih živih organizama, ali i za industrijski i tehnološki napredak čovječanstva. Voda je dio našeg svakodnevnog života i ona ne poznaje granice. Kvalitet slatkovodnih ekosistema je promjenljiv jer mnogi od produkata ljudske aktivnosti neminovno završavaju u vodi, dok drugi koji su izbačeni u zrak ili tlo na kraju uglavnom opet završavaju u vodenim ekosistemima. Kvalitet površinskih voda odabranog sliva rijeke Spreče u dobroj mjeri je ugrožen, kao što je to slučaj sa vodotocima i na širem prostoru sjeveroistočne Bosne. Najčešći zagadživači su komunalne otpadne vode, koje nastaju kao rezultat aktivnosti stanovništva kako u ruralnim, tako i u urbanim naseljima. Poseban problem predstavljaju industrijske otpadne vode, a naročito nakon privatizacije pojedinih industrijskih postrojenja. Otpadne vode sadrže rastvorljive i nerastvorljive materije, neorganske i organske materije različitog porijekla. Prisustvo ovih materija mijenja prirodna svojstva vode i tako utiče na živi svijet u njoj. Rijeka Spreča je jedna od najdužih rijeka u našoj zemlji. Izvire ispod Velje Glave (619 m.n.v) u blizini Zvornika i ima dužinu toka od 115,7 km i površinu sliva od 1945 km² (Ilešić S, 1947, Avdić R, 2011). Rijeka Spreča je bogata vodom. Prosječni protok kod Modraca je 15 –20 m³/sec, a kod Karanovca 25–27 m³/sec. Najviši srednji mjesечni vodostaj je u februaru 160 cm, a najniži u avgustu 89 cm, te se kao takva može svrstati u varijantu vodotoka pluvijalnog režima (Kulenović S. 1991). Značaj ispitivanja kvaliteta površinske vode odabranih pritoka i rijeke Spreče ogleda se u činjenici što je njihov prirodni sastav narušen ulivanjem industrijskih i komunalnih otpadnih voda. Kvalitet površinske vode odabranih pritoka i rijeke Spreče od posebnog je značaja zbog uticaja na životnu okolinu i zdravlje čovjeka, jer je na kraju svim odabranim rijekama akumulacija jezero Modrac odakle se voda koristi za prerađu i piće.

Hidroakumulacija Modrac je najveći vodoprovredni objekat ove vrste u Bosni i Hercegovini. U hidrografском pogledу pripada crnomorskom slivu i čine ga rijeke Spreča i Turija sa svojim pritokama kao i brojne male pritoke, koje se u akumulaciju neposredno ulivaju.

MATERIJAL I METODE

Odabrani lokaliteti se nalaze u gornjem slivu rijeke Spreče od ušća Oskove pa do jezera Modrac, sa pripadajućim vodotocima Oskova, Litva i Gostelja, koji zbog prijema otpadnih voda iz rudnika uglja (sa površinskih kopova i separacije), drvene industrije i drugih otpadnih voda ne zadovoljavaju propisan kvalitet. Za svaki lokalitet Garmin GPS uređajem (MAGELLAN EXPLORIST 210) snimljena tačna pozicija i nadmorska visina (Tabela 1.).

Tabela 1. Snimljene pozicije lokaliteta sa nadmorskim visinama

Lokalitet	Geografska širina	Geografska dužina	Nadmorska visina
1	44°22'49.86"	18°40'06.34"	309.40 m
2	44°24'59.64"	18°39'46.37"	268.60 m
3	44°27'09.07"	18°38'28.79"	241.90 m
4	44°27'49.63"	18°37'10.79"	253.40 m
5	44°28'09.90"	18°37'53.90"	207.26 m
6	44°24'11.48"	18°33'45.16"	360.70 m
7	44°24'31.87"	18°31'49.50"	352.50 m
8	44°24'44.92"	18°32'26.26"	369.10 m
9	44°25'01.81"	18°33'36.36"	331.60 m
10	44°28'46.19"	18°32'51.99"	193.24 m
11	44°27'58.46"	18°35'32.24"	199.34 m

Lokaliteti na kojima je vršeno uzorkovanje označeni su brojevima od 1 do 11 na situacionoj karti snimljenoj sa Google Earth-a (Slika 1.). N svih 11 lokaliteta izvršena su *in situ* mjerena sljedećih parametara: temperature vode (°C), pH vrijednost, redoks potencijal (ORP), rastvoreni kisik (DO mg/L), provodljivost (µS/cm) i ukupne rastvorene materije (TDS ppm). Za *in situ* mjerena odabranih kvaliteta površinske vode korišten je *Hanna Instruments HI 9828 Multiparameter Water Quality Meter*. Nakon *in situ* mjerena na svim lokalitetima prikupljeni su uzorci vode. Uzorkovanje vode za laboratorijske analize (određivanje sadržaja organske materije, nitrita, amonijaka i fosfata) je vršeno u hemijski čiste plastične boce volumena 1L nakon čega su u mini hladnjaku „Bravo 25“ italijanskog proizvođača transportovani do laboratorije u vremenu od max. 2,5h, gdje su odmah vršene analize. Prijе samog uzorkovanja boce su isprane uzorkovanom vodom po tri puta. U laboratoriji su izvršene sljedeće analize:

- Sadžaj organske materije u vodi je određen na osnovu utroška KMnO_4 . Utrošak kalij permanganata je bitan kako bi mogli odrediti količinu organske materije. Razgradnjom kalij permanganata u vodi oslobođa se kisik. Oslobođeni kisik oksidira prisutnu organsku materiju. Na osnovu količine potrošenog kalij permanganata, odnosno količine kisika utrošenog (potrebnog) za oksidaciju organske materije, izračunamo količinu organske materije. Odmeriti 100 mL uzorka vode u Erlenmeyerovu tikvicu. Tome se doda 10 mL 33% HCl-a i 15 mL kalij permanganata (KMnO_4). Kiselina se dodaje jer se reakcija znatno brže odvija u kiselom mediju. Vrši se zagrijavanje do ključanja i ostavi da ključa 20 minuta. Nakon čega se dodaje 15 mL oksalne kiseline. Oksalna kiselina se dodaje otopini kako bi se potrošio preostali kalij permanganat. Stoga se otopina obezboji. Potom retitriramo pomoću kalijevog permanganata. Utrošak kalijevog permanganata nam govori o količini oksalne kiseline koji je ostao nakon reakcije, dakle:

- na osnovu utroška kalij permanganata (KMnO_4) za retitraciju, izračunamo kolika se količina oksalne kiseline ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) nije vezala za prvobitni kalij permanganat; ostala je slobodna i vezala se za novo-dodani kalij permanganat.

- na osnovu količine koja se nije vezala izračunava se vezana oksalna kiselina.

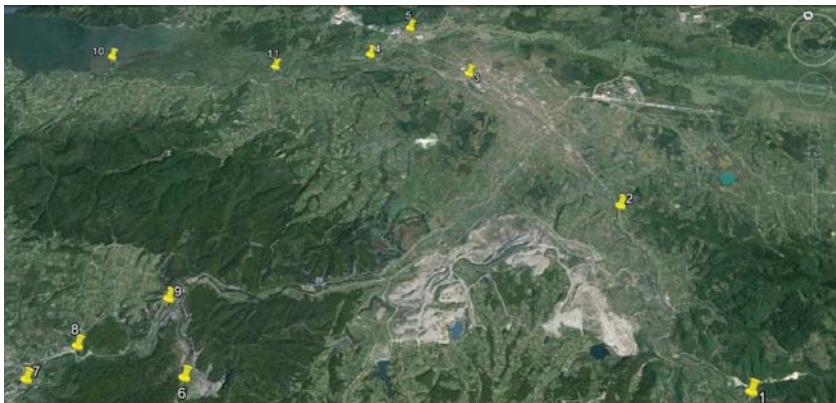
-na osnovu količine vezanog kalijevog permanganata izračunamo količinu kisika, a iz toga procijenimo količinu organske materije.

$$C_{KMnO_4} = \frac{V_{KMnO_4\text{rel.}} [ml] \cdot 0.316}{100\%} [g/l]$$

– volumen kalijevog permanganata potrošenog za retritraciju

0.316 – faktor pretvaranja mL u gram za kalijev permanganat

– koncentracija kalijevog permanganata



Slika 1. Situaciona karta istraživanog područja

Za određivanje nitrita, amonijaka i fosfata u vodi korišten je UV/VIS spektrofotometar Lambda 25, Perkin Elmer, koji posjeduje deutrijevu i wolfram-halogen lampu

- Određivanje amonijaka u vodi

Prije pripreme i analize uzorka potrebno je formirati baždarni pravac na osnovu poznatih koncentracija iz standardnog rastvora. 25 ml ispitivanog uzorka + 1 ml SIGNETOVE soli + 1 ml NESSLER reagensa. Pričeka se 5 minuta da se razvije boja (žuta). Mjerenje se vrši na spektrofotometru na 425 nm. Paralelno se radi i slijepa proba* (25 ml destilovane vode + reagensi).

* - (slijepa proba je postupak kod kojeg umjesto uzorka koristimo destilovanu vodu i odgovarajući reagens) baždarna kriva za određivanje slobodnog amonijaka snima kod 425 nm - 25 ml - Nessler metoda

- Određivanje nitrita u vodi

Prije pripreme i analize uzorka potrebno je formirati baždarni pravac na osnovu poznatih koncentracija iz standardnog rastvora. U 50 ml uzorka doda se 1 ml EDTA. 1 ml sulfamilne kiseline i 1 mL α-NAFTILAMINHLORIDA i ostavi se stajati 3-5 minuta.

Zatim se doda 1 ml pufer otopine i opet ostavi stajati 10-30 minuta dok se ne pojavi ružičasta boja. Mjeri se na spektrofotometru na 520 nm.

- Određivanje fosfata u vodi

Prije pripreme i analize uzorka potrebno je formirati baždarni pravac na osnovu poznatih koncentracija iz standardnog rastvora. U 25 ml uzorka doda se 1 ml reagensa za fosfate i 2-3 kapi otopine $SnCl_2$ i ostavi se stajati 15 minuta do pojave plave boje. Mjeri se na spektrofotometru na 690 nm. Paralelno se radi i slijepa proba.

- Određivanje sulfata u vodi

Za određivanje sulfata u vodi kofrišten je WTW fotometar Photolab S6 (slika 3.4.). Prije pripreme i analize uzorka potrebno je formirati baždarni pravac na osnovu poznatih koncentracija iz standardnog rastvora. Na osnovu proračuna odmjeriti izračunate mL osnovnog rastvora ($1000 \text{ mg Na}_2\text{SO}_4/\text{L}$), na to dodati 2,5mL smjese za kondicioniranje (glicerol, kons. HCl , etanol i $NaCl$) i razblažiti destilovanom vodom do 25mL. Pripremljeni rastvor prenijeti u Erlenmayer tirkicu i na vrhu kašike dodati čvrstog $BaCl_2$. Izvršiti mjerenje na 420-445nm.

- HPK

Hemijska potrošnja kiseonika (HPK) je količina oksigena ekvivalentna potrošenom dihromatu za oksidaciju organskih supstanci u izmjerenoj zapremini površinske ili otpadne vode koja se ispituje. HPK se koristi za procjenu stepena zagađenja vode organskim materijama. Bolji rezultati i potpunija oksidacija postiže se zagrijavanjem uzorka na temperaturi ključanja sa jako kiselim rastvorom dihromata u prisustvu srebro-sulfata kao katalizatora, nego sa kalij permanganatom. Dihromat se dodaje u višku, a neutrošeni dio se odredi titracijom sa standardnim rastvorom željezo(II)amonijum sulfata. Iz utrošene količine dihromata izračunava se ekvivalent utošenog oksigena. Dihromat se redukuje prema jednačini:



Iz prikazane jednačine vidi se da je svaki dihromatni ion po oksidacionoj sposobnosti ekvivalentan sa tri kiseonikova atoma, jer svaki atom oksigena prima dva elektrona reagujući kao oksidaciono sredstvo.

- BPK₅

Biohemija potrošnja kiseonika predstavlja količinu kiseonika koja se utroši za oksidaciju organskih supstanci pod dejstvom aerobnih mikroorganizama u izmjerenoj zapremini ispitivane površinske ili otpadne vode u toku pet dana na temperaturi od 20°C. Voda zasićena oksigenom na 20°C sadrži 9,2 mg O₂/L rastvorenog oksigena. Pošto se oksidacija organskih supstanci u zagađenoj vodi potroši u toku 5 dana na 20°C više od ove količine kisika, uzorak se mora razblažiti potrebnom količinom destilovane vode koja je prethodno zasićena kisikom i kojoj su dodate male količine soli potrebne za razvitak mikroorganizama. U slučaju kada zagađena voda sadrži malo mikroorganizama uslijed hloriranja, visoke temperature, nepovoljne pH-vrijednosti, ona se mora poslije prethodne pripreme zasiliti mikroorganizmima iz kanalskog sadržaja. Radi toga se 1 litru vode za razblaživanje doda 1-2 ml materijala za zasijavanje. Poslije razblaživanja vodu treba, ako je potrebno, neutralisati do pH 7 dodatkom 0,5 mol/L H₂SO₄ ili 1 mol/L NaOH, koristeći pri tom pH-metar ili bromtimol plavo kao spoljni indikator. Manometrijskom metodom prati se smanjenje pritiska u zatvorenom sudu, koje je povezano sa utroškom O₂ iz gasne faze za biohemski proces razgradnje organskih materija u izmjerenoj zapremini otpadne vode. Mikroorganizmi troše kiseonik za oksidaciju organskih materija i nastaje CO₂, koji se apsorbuje u NaOH stvarajući vakum koji se instrumentalno očitava kao mg BPK₅ (mgO₂/L). Osnovne prednosti manometrijske metode su jednostavnost analize, smanjenje troškova analize, mogućnost praćenja brzine potrošnje kisika, lakše je detektovanje prisustva toksičnih komponenata (nema razblaženja), eliminise se ometanje određivanja O₂, kao što je formiranje mulja na elektrodi, lakše upravljanje biološkim procesima prečišćavanja otpadnih voda.

REZULTATI I DISKUSIJA

Da bi se preciznije definisao kvalitet površinskih voda vodotoka obuhvaćenih istraživanjem odabranog dijela sliva rijeke Spreče, eksperimentalno dobivene vrijednosti pojedinih parametara poređene su sa maksimalno dozvoljenim koncentracijama (MDK). Naime, u Bosni i Hercegovini postoje pravilnici koji regulišu količinu štetnih materija koje se ispuštaju otpadnim vodama u površinske vodotoke i kanalizacije (Pravilnik o graničnim vrijednostima opasnih i štetnih tvari za tehnološke otpadne vode prije njihovog ispuštanja u sustav javne kanalizacije odnosno u drugi prijemnik) i pravilnik o karakterizaciji površinskih vodotoka koji je u proceduri (Radni materijal za izradu „Pravilnika o karakterizaciji površinskih i podzemnih voda, nacinu utvrđivanja specifičnih referentnih uslova i klasifikaciji stanja voda“). Uredba o kategorizaciji voda (Sl. novine FBiH, broj 18/98, kojom je preuzeta stara Uredba, Sl. list SR BiH, broj 42/67) svim vodotocima određuje kategoriju te pripadajuću klasu vode, a za klase vode postoje MDK (Tabela 2.) vrijednosti (Sl. novine FbiH 18/98). Prema navedenoj Uredbi vodotok rijeke Spreče klasificiran je kako slijedi:

- Od izvora rijeke Spreče do akumulacije Modrac (II klasa)
- Jezero Modrac (II klasa)

- Od akumulacije Modrac do ušća u rijeku Bosnu (III klasa).

Tabela 2. MDK po klasama voda (I-IV) prema Uredbi o klasifikaciji vodotoka

Pokazatelj	I klasa	II klasa	III klasa	IV klasa
O ₂ [mg/L]	8	6	4	3
Saturacija O ₂ [%]	90-105	75-90	50-75	30-50
BPK ₅ [mgO ₂ /L]	2	4	7	20
HPK [mgO ₂ /L]	10	12	20	40
Suspendovane materije	10	30	80	100
pH vrijednost	6,8-8,5	5,8-8,5	6,0-9,0	6,0-9,0
Vidljive otpadne materije	bez	bez	bez	bez
Primjetna boja	bez	bez	Slabo primjetna	Slabo primjetna
Primjetni mirisi	bez	bez	Slabo primjetni	Slabo primjetni

Pritoke rijeke Spreče obuhvaćene analizama u ovom radu značajno utiču na kvalitet vode rijeke Spreče, sa pripadajućim otpadnim vodama. Ova činjenica nije posljedica ulijevanja samo industrijskih otpadnih voda (rudnici mrkog uglja) nego i otpadnih voda iz kanalizacionih sistema i individualnih domaćinstava, što je posljedica pojačane urbanizacije.

Tabela 3. Rezultati fizičko-hemijske analize vode za jesen 2013.god.

Parametar	1	2	3	4	5
t vode [°C]	14,24	13,82	14,67	15,83	14,34
pH	7,64	7,34	7,55	7,21	7,28
Redoks potencijal [mV]	86,27	92,80	84,20	86,95	37,85
Provodljivost [μS/cm]	381,33	457,00	751,00	725,50	527,00
Rastvoren kisik [mg/L]	7,33	6,12	6,40	2,57	5,58
Ukupne rast. materije [mg/L]	191,00	228,50	375,50	363,00	263,50
Utrošak KMnO ₄ [mg/L]	12,96	29,07	153,29	180,16	49,62
Nitriti [mg NO ₂ ⁻ /L]	0	0	2,08	33,20	0
Amonijak [mg NH ₃ /L]	0	0	20,67	126,86	23,53
Fosfati [mg PO ₄ ³⁻ /L]	0,11	0,27	4,42	2,99	0,32
Sulfati [mg SO ₄ ²⁻ /L]	157,20	245,00	472,20	364,60	215,60

Parametar	6	7	8	9	10	11
t vode [°C]	10,51	13,34	11,86	11,67	15,34	15,86
pH	8,44	7,76	8,02	8,26	7,72	7,83
Redoks potencijal [mV]	44,03	-347,57	-202,07	-52,230	71,60	60,50
Provodljivost [μS/cm]	468,00	1310,7	1360,0	1365,3	882,00	946,00
Rastvoren kisik [mg/L]	1,51	0,35	0,77	1,55	0,68	0,90
Ukupne rast. materije [mg/L]	234,00	655,00	680,00	683,00	441,00	473,33
Utrošak KMnO ₄ [mg/L]	41,09	107,47	66,38	83,76	181,75	116,95
Nitriti [mg NO ₂ ⁻ /L]	0	13,02	0,10	6,04	63,93	22,53
Amonijak [mg NH ₃ /L]	11,03	1508,3	612,53	276,90	470,83	245,80
Fosfati [mg PO ₄ ³⁻ /L]	0,076	0,794	50,80	29,97	56,90	22,43
Sulfati [mg SO ₄ ²⁻ /L]	288,80	248,60	515,40	544,20	445,80	514,40

Prema in situ mjerjenjima za pH vrijednost, kako je predstavljeno u rezultatima (tabele od 3. do 6.) po godišnjim dobima, analizom prema rastućim vrijednostima i poredeći sa MDK za klase voda vidimo da se u jesenjem periodu pH vrijednost kretala između 7,21 i 8,24 pri čemu na

svim lokalitetima po ovom parametru vodotoci pripadaju I klasi. Takođe u periodu ljeta pH vrijednost se kretala između 7,34 i 8,33 i nije izlazila iz okvira MDK za I klasu vode na svim lokalitetima. Tokom zime pH vrijednost se kretala u rasponu od 7,14-8,46 (I klasa), sa izuzecima Spreče nakon ulijevanja Oskove (8,6), ušće Spreče u Jezero Modrac (8,57) i Litva nakon ulijevanja otpadnih voda iz rudnika mrkog uglja (9,46), čime se svrstavaju, prema pH vrijednosti u II klasu voda. U proljetnom periodu pH vrijednost se kreće u rasponu od 7,72-8,30 (I klasa), a na lokalitetima 2, 1, 6, 8 i 9 od 8,55-9,60 na osnovu čega se svrstavaju u II klasu voda. Najveće pH-vrijednosti su u uzorku rijeke Litve nakon ulijevanja otpadnih voda iz rudnika mrkog uglja tokom zime 9,45 i tokom ljeta 9,6. Ovakve vrijednosti su direktna posljedica subjektivne prirode, odnosno neodgovornog vođenja procesa prečišćavanja otpadnih voda koje dovodi do pojave preljeva na prihvatnim bazenima, curenja na cjevovodima, prekida u radu pojedinih cjelina procesa prečišćavanja, neodržavanja zemljanih taložnika za prihvat otpadnih voda za slučaj havarija na postrojenju te nekontrolisanog odlaganja izdvojenog taloga (mulja) iz postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. Zbog toga se ispuštaju veće količine otpadnih voda sa visokim sadržajem suspendiranih materija i značajne količine taloga-otpadnog mulja koji sadrži čestice uglja, laporca i laporovitih gline. Kao krajnji rezultat, zbog prisustva laporca, te velike adsorpcione sposobnosti ugljena i aktinosti H⁺ jona, dolazi do povećanja pH-vrijednosti.

Tabela 4. Rezultati fizičko-hemijske analize vode za zimu 2013.god.

Parametar	1	2	3	4	5
t vode [°C]	3,54	7,60	13,71	8,13	5,08
pH	7,14	7,68	8,10	8,60	7,97
Redoks potencijal [mV]	143,63	96,77	64,30	11,20	8,40
Provodljivost [μS/cm]	255,00	341,33	531,33	690,33	414,33
Rastvoreni kisik [mg/L]	10,31	7,25	5,56	6,07	7,30
Ukupne rast. materije [mg/L]	128,00	170,67	265,67	345,33	207,33
Utrošak KMnO ₄ [mg/L]	17,38	31,61	202,29	145,39	31,61
Nitriti [mg NO ₂ ⁻ /L]	0	0	68,32	14,77	0,1
Amonijak [mg NH ₃ /L]	0	18,20	382,63	458,10	30,43
Fosfati [mg PO ₄ ³⁻ /L]	0	1,953	2,2076	2,7954	0,27541
Sulfati [mg SO ₄ ²⁻ /L]	90,8	213,4	436	259,6	128,4

Parametar	6	7	8	9	10	11
t vode [°C]	11,74	11,01	13,94	7,87	14,17	14,79
pH	8,46	7,86	8,34	9,46	8,57	8,22
Redoks potencijal [mV]	17,17	53,73	-2,30	-20,08	33,87	38,70
Provodljivost [μS/cm]	709,67	896,00	1004,3	990,00	417,00	406,00
Rastvoreni kisik [mg/L]	2,11	1,66	1,25	1,47	1,42	1,16
Ukupne rast. materije [mg/L]	354,67	447,67	502,25	495,00	208,67	203,00
Utrošak KMnO ₄ [mg/L]	25,29	44,25	30,98	45,51	91,66	58,98
Nitriti [mg NO ₂ ⁻ /L]	0	0	0	0,10	0,50	0,18
Amonijak [mg NH ₃ /L]	0	73,36	61,40	66,00	56,30	29,39
Fosfati [mg PO ₄ ³⁻ /L]	0	0,589	0,488	0,461	1,21	0,4769
Sulfati [mg SO ₄ ²⁻ /L]	99,8	479,8	568,4	532,6	292	336,94

Promatrajući tabele vidimo da u periodu jeseni maksimalna koncentracija O₂ je 7,33 mg/L, te ni na jednom lokalitetu ne dostiže vrijednost potrebnu za I klasu vode. Na lokalitetima 2 (6,11 mg/L), 3 (6,39 mg/L) i 1 (7,33 mg/L) koncentracija O₂ odgovara II klasi voda. Na lokalitetu 5 sa koncentracijom 5,58 mg/l kvalitet vode odgovara III klasi, a ostali lokaliteti sa rasponom koncentracija O₂ od 0,34-2,57 mg/L odgovaraju kvalitetu IV klase vodotoka. Tokom zime samo u uzorku vode iz rijeke Gostelje prije ulijevanja otpadnih voda iz rudnika mrkog uglja koncentracija O₂ je prelazila vrijednost za I klasu voda i iznosila je 10,31 mg/L. Na lokalitetima

4,2 i 5 koncentracija O₂ se kretala između 6 i 7,29 mg/L što odgovara II klasi voda. Na ostalim lokalitetima, izuzev lokaliteta 3 (Oskova nakon ulijevanja Gostelje) sa 5,5 mg/L (III klasa), koncentracije O₂ su se kretale od 1,15-2,1 mg/L što svakako odgovara IV klasi voda. Tokom proljeća kvalitet voda uglavnom odgovara IV klasi sa rasponom koncentracija od 0,51-3,59 mg/L, sa izuzecima lokaliteta 2, 9 i 6 gdje se koncentracije kreću nešto iznad predviđene MDK za III klasu voda (od 4,35-4,60 mg/L). U ljetnom periodu situacija je dosta bolja sa koncentracijama od 7,9-10,18 mg/L što odgovara I klasi voda. Izuzetak je lokalitet 7 sa koncentracijom 4,8 mg/L (III klasa) i lokalitet 8 sa 7,77mg/L (II klasa). Nakon ovog kratkog monitoringa kroz 4 godišnja doba, ako izuzmemmo vrijednosti koncentracija O₂ za ljetni period, slobodno možemo konstatovati da kvalitet voda ne odgovara predviđenom kvalitetu (II klasa do akumulacije Modrac i Modrac) Uredbom o kategorizaciji vodotoka.

Tabela 5. Rezultati fizičko-hemiske analize vode za proljeće 2013.god.

Parametar	1	2	3	4	5
<i>t</i> vode [°C]	15,79	16,44	27,15	18,36	18,65
pH	9,06	8,55	7,77	7,72	7,83
Redoks potencijal [mV]	60,64	69,97	93,88	137,03	128,93
Provodljivost [μS/cm]	341,20	813,33	433,25	897,00	443,75
Rastvoreni kisik [mg/L]	3,04	4,35	0,52	2,39	2,21
Ukupne rast. materije [mg/L]	171,00	406,67	216,75	448,75	221,50
Utrošak KMnO ₄ [mg/L]	8,53	19,91	126,43	18,65	21,49
Nitriti [mg NO ₂ ⁻ /L]	0	2,51	32,99	2,06	0,41
Amonijak [mg NH ₃ /L]	21,10	44,90	243,80	44,57	24,50
Fosfati [mg PO ₄ ³⁻ /L]	0,11	0,24	1,02	0,24	0,35
Sulfati [mg SO ₄ ²⁻ /L]	45,60	149,80	526,20	362,40	70,40

Parametar	6	7	8	9	10	11
<i>t</i> vode [°C]	15,37	13,54	14,88	15,04	18,09	16,32
pH	9,21	8,30	9,49	9,60	8,24	8,00
Redoks potencijal [mV]	25,83	52,63	97,73	73,78	71,64	142,63
Provodljivost [μS/cm]	390,33	1118,0	1331,3	1263,0	742,86	734,00
Rastvoreni kisik [mg/L]	4,63	3,99	2,95	4,52	4,00	3,26
Ukupne rast. materije [mg/L]	195,00	559,00	666,00	632,00	371,14	367,00
Utrošak KMnO ₄ [mg/L]	25,29	86,92	85,34	99,56	69,54	19,28
Nitriti [mg NO ₂ ⁻ /L]	0	0,51	2,05	6,57	1,19	1,02
Amonijak [mg NH ₃ /L]	21,84	307,27	222,56	71,47	44,47	45,83
Fosfati [mg PO ₄ ³⁻ /L]	0,11	2,01	1,28	0,87	0,40	0,36
Sulfati [mg SO ₄ ²⁻ /L]	125,80	524,40	391,40	431,20	366,20	436,20

Na osnovu BPK₅ vodotoci se svrstavaju u 4 klase, I klasa 2-4 mgO₂/L, II klasa do 4-7 mgO₂/L, III klasa od 7-20 mgO₂/L i IV klasa 20 mgO₂/L i više. Prema vrijednostima koje su predstavljene u tabelama (tabele 3. do 6.)činjenica je da na većini lokaliteta, tokom cijele godine, vrijednost BPK₅ prelazi 7 mgO₂/L (7-46 mgO₂/L) što odgovara kvalitetu III i IV klase voda. Ovakve visoke vrijednosti za BPK₅ posljedica su zagađenja organskog porijekla iz otpadnih voda rudnika, kanalizacionih sistema te drugih neadekvatnih dispozicionih sistema (praonice, benzinske pumpe i sl.). Prethodna tvrdnja proizilazi iz činjenice da izuzetak čine lokaliteti 6 (Oskova prije ulijevanja Litve) i 1 (Gostelja iznad rudnika mrkog uglja) tokom ljeta (4,2 i 6,5 mgO₂/L) što ih svrstava u II klasu, te 6 i 1 tokom proljeća (0,33 i 2,2 mgO₂/L) što odgovara I klasi, a nalaze se uzvodno od ulijevanja otpadnih voda. Lokaliteti 5, 11 i 10 (Spreča prije

ulijevanja Oskove; Spreča poslije ulijevanja Oskove i ušće Spreče u Modrac) sa vrijednostima BPK₅ (0; 0; 3,1 mgO₂/L) tokom jeseni odgovaraju kvalitetu vodotoka I klase, što je u skladu sa Uredbom o klasifikaciji vodotoka, ali samo za taj period.

Tabela 6. Rezultati fizičko-hemiske analize vode za ljeto 2013.god.

Parametar	1	2	3	4	5
<i>t</i> vode [°C]	17,18	18,69	20,62	20,40	21,36
pH	8,33	7,74	7,82	7,68	7,98
Redoks potencijal [mV]	15,00	39,64	12,28	22,55	-28,16
Provodljivost [μS/cm]	361,00	824,40	626,20	932,50	604,60
Rastvoren kisik [mg/L]	10,18	9,24	9,77	8,24	7,96
Ukupne rast. materije [mg/L]	180,67	412,20	313,00	466,50	302,20
Utrošak KMnO ₄ [mg/L]	-	-	-	-	-
Nitriti [mg NO ₂ ⁻ /L]	1,69	6,02	2,83	4,86	6,20
Amonijak [mg NH ₃ /L]	29,37	80,90	150,43	883,77	85,53
Fosfati [mg PO ₄ ³⁻ /L]	0,21	0,38	1,06	2,63	0,62
Sulfati [mg SO ₄ ²⁻ /L]	103,20	350,80	314,60	269,40	188,00

Parametar	6	7	8	9	10	11
<i>t</i> vode [°C]	18,21	17,27	18,46	18,12	21,76	21,72
pH	7,67	7,34	7,43	7,63	7,57	7,53
Redoks potencijal [mV]	10,81	-127,24	16,95	44,86	76,82	80,51
Provodljivost [μS/cm]	379,57	1232,3	1396,0	1314,1	773,11	771,78
Rastvoren kisik [mg/L]	9,82	4,80	7,78	9,83	8,71	8,61
Ukupne rast. materije [mg/L]	189,86	616,14	698,00	657,00	386,56	386,33
Utrošak KMnO ₄ [mg/L]	-	-	-	-	-	-
Nitriti [mg NO ₂ ⁻ /L]	1,82	22,62	4,30	6,54	1,99	1,38
Amonijak [mg NH ₃ /L]	36,53	252,97	256,56	81,466	51,00	49,50
Fosfati [mg PO ₄ ³⁻ /L]	0,14	0,94	1,18	0,69	0,45	0,47
Sulfati [mg SO ₄ ²⁻ /L]	175,80	514,00	467,80	530,40	466,40	395,80

Poređenjem eksperimentalno dobivenih vrijednosti i MDK za HPK u skladu sa klasifikacijom vodotoka (Tabele od 3. do 6.), uviđamo da su najveće vrijednosti HPK u jesenjem periodu od 54,54 – 219,04 mgO₂/L (IV klasa). U ovom periodu izuzetak je lokalitet 10 sa 27,3 mgO₂/L, što odgovara kvalitetu III klase voda. Lokaliteti 3, 5, 2 i 11 sa HPK od 4,3-9,3 mgO₂/L u proljeće odgovaraju I klasi voda. Tokom istog perioda lokaliteti 6 i 1 sa HPK vrijednostima 12,5 i 15,5 mgO₂/L odgovaraju kvalitetu voda II klase. Ostali lokaliteti sa HPK vrijednostima od 26-74 mgO₂/L odgovaraju kvalitetu III i IV klase vodotoka. Tokom ljeta lokaliteti 11 i 6 sa HPK vrijednostima 4,43 i 5,7 mgO₂/L odgovaraju I klasi vodotoka, dok ostali lokaliteti sa rasponom vrijednosti HPK od 27-94 mgO₂/L odgovaraju III odnosno IV klasi vodotoka. Takođe lokalitet 8 tokom ljeta sa vrijednosti HPK od 17,8 mgO₂/L odgovara kvalitetu II klase vodotoka. Na osnovu iznesenog se može zaključiti da postoji veliki uticaj kako otpadnih industrijskih voda tako i komunalnih otpadnih voda iz kanalizacionih sistema, ali i da vrijednosti HPK opadaju idući sливом nizvodno ka ušću u jezero Modrac zbog ogromne moći samoprečišćavanja vodotoka.

ZAKLJUČAK

Eksperimentalno dobivene vrijednosti fizičko-hemijskih parametara su bile veće od MDK vrijednosti za pripadajuće kategorije voda, što upućuje na značajan antropogeni uticaj. Dobiveni rezultati su pokazali da se na osnovu jednog parametra koji prelazi MDK vrijednosti može utvrditi da ispitivani dio vodotoka rijeke Spreče sa odgovarajućim pritokama izlazi iz okvira predviđene kategorije.

LITERATURA

1. Avdić R. (2011) Uloga tehnološkog procesa oplemenjivanja uglja na separaciji RMU Đurđevik u lancu onečišćivača slivnog područja rijeke Spreče, Magistarski rad, RGGF, Tuzla,
2. Ilešić S. (1947) Rečni režimi u Jugoslaviji. Geografski vesnik, Ljubljana.
3. Kulenović S. (1991) Gračanica i okolina (antropogeografske i etnološke odlike). Muzej istočne Bosne, Tuzla.
4. Sl. novine FBiH, broj 18/98, kojom je preuzeta stara Uredba, Sl. list SR BiH, broj 42/67

USPOREDNA FIZIKALNO-KEMIJSKA SVOJSTAVA KRŠKIH RIJEKA I UTJECAJ ONEČIŠĆENJA

D. Škobić, A. Šljivić

Fakultet prirodoslovno-matematičkih i odgojnih znanosti Sveučilišta u Mostaru, Mätze hrvatske bb, 88
000 Mostar, Bosna i Hercegovina

SAŽETAK

Kvaliteta površinskih voda je pod stalnim utjecajem sedimentne podloge, kao i pod velikim utjecajem padalina. Osim prirodnog učinka na vodne sustave stanje se pogoršava ljudskom djelatnošću. Cilj istraživanja je bio odrediti fizikalno-kemijska svojstva i razlike krških rijeka uvjetovane okolišem, te utjecaj onečišćenja.

Kao objekt istraživanja uzete su dvije krške regije (Lištica i Radobolja) koje na temelju litoloških i klimatskih karakteristika pripadaju Submediteranskom dinaridskom subregionu, te dvije krške rijeke (Fojnica i Lašva) koje pripadaju Kontinentalnom dinaridskom subregionu. Fizikalno-kemijska svojstva određivana su za četiri vodotoka obuhvačajući gornji, srednji i donji tok rijeka. Od fizikalnih parametara mjereni su temperatura i električna vodljivost, a od kemijskih: količina otopljenog kisika (mg/L), pH vrijednost, tvrdoća, koncentracija otopljenih nitrata, nitrita, fosfata i amonijaka u vodi.

Vrijednosti temperature zabilježenih na rijekama Lištica i Radobolja kretali su se od 9,7 do 10,6 °C i značajno su se razlikovale od vrijednosti zabilježenih na rijekama Fojnica i Lašva gdje su se vrijednosti kretale od 7 do 8,4 °C. Razlike u temperaturama mogu se objasniti različitim klimatskim uvjetima, geografskim položajem te djelovanjem sunčevog zračenja. Vrijednosti otopljenog kisika u vodi su u skladu s vrijednostima izmјerenih temperature u rijekama Lištica, Fojnica i Radobolja. Međutim, povišene koncentracije mineralnih tvari (što se očituje preko električne vodljivosti) dijelom mogu objasniti smanjeni sadržaj otopljenog kisika u rijeci Lašvi, dok se dijelom mogu objasniti antropogenim utjecajem. Vrijednosti električne vodljivosti i tvrdoće vode kao i pH vrijednosti za rijeku Lišticu pokazivale su tipični karakter karbonatnih rijeka. Za rijeku Fojnicu i Lašvu vrijednosti tvrdoće vode bile su ujednačene i kretale su se oko 160,65 mg/l dok su vrijednosti električne provodljivosti bile povišene i kretale su se u rasponu 353 do 472 µS/cm. Također, i izmјerene vrijednosti fosfata bile su više i kretale su se u vrijednosti oko 3 mg/l.

Na temelju izmјerenih vrijednosti može se zaključiti da proučavane rijeke (Lištica, Radobolja, Fojnica i Lašva) su pod stalnim utjecajem okoliša koji je uvjetovan karakteristikama tla i klime i stalnim antropogenim utjecajem.

KLJUČNE RIJEČI: krš; fizikalno-kemijski parametri; kvaliteta voda; antropogeni utjecaj

UVOD

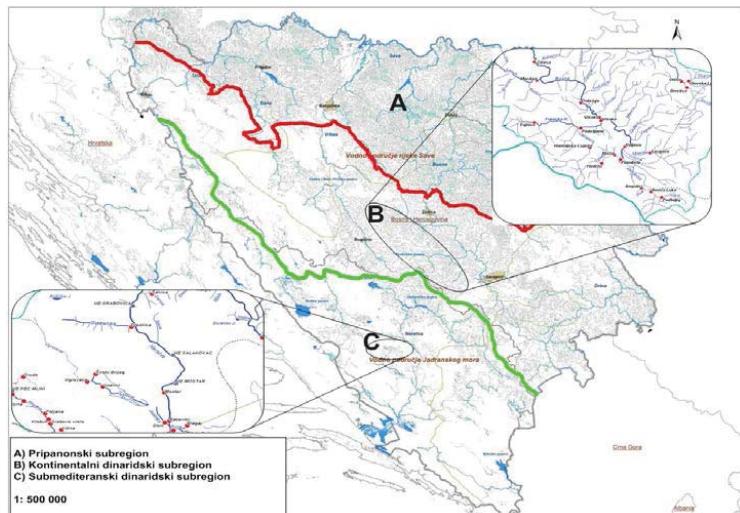
Krš se može definirati kao oblici reljefa čija je topografija uglavnom formirana različitim hidrografskim procesima na vapnenačkim i/ili dolomitnim stijenama, a odlikuje se ponikvama, ponornicama, zatvorenim depresijama i špiljama (Field, 2002.). Geomorfološka i hidrogeološka svojstva imaju bitan utjecaj na hidrološke prilike. Položaj Dinarida te prostiranje krša predstavljaju temelj na kojima nastaju sva izvorišta vodotoka. Područje Bosne i Hercegovine je na temelju klimatskih i litoloških karakteristika podijeljeno na tri subregiona, Pripanonski, Kontinentalno dinaridski i Submediteransko dinaridski subregion (slika 1.) gdje se krš prostire većim dijelom na Kontinentalnom dinaridskom subregionu i u cijelosti na Submediteranskom dinaridskom regionu gdje ima odlike pravog krša.

Kvaliteta površinskih voda je pod stalnim utjecajem sedimentne podloge te pod velikim utjecajem padalina. Također, osim prirodnog učinka na vodne sustave stanje se pogoršava ljudskom djelatnošću kao što su nekontrolirano ispiranje tla uslijed poljoprivrede, odvodni gradski sustavi stvarajući dodatno opterećenje za riječne sustave te su procjene kvalitete voda postala važan dio raznih studija o vodenim resursima, studijama planiranja i upravljanja (Hiremath i sur., 2015.).

Cilj istraživanja je bio odrediti fizikalno-kemijska svojstva i razlike krških rijeka uvjetovane okolišem, te utjecaj onečišćenja. U ovom istraživanju, kao fizikalno-kemijski parametri mjereni su temperatura, pH vode, tvrdoća vode, električna vodljivost, sadržaj otopljenog kisika u vodi te sadržaj otopljenih iona nitrata, nitrita, fosfata te amonijevih iona.

MATERIJALI I METODE

Kao objekt istraživanja uzete su dvije krške regije (Lištica i Radobolja) koje na temelju litoloških i klimatskih karakteristika pripadaju Submediteranskom dinaridskom subregionu, te dvije krške rijeke (Fojnica i Lašva) koje pripadaju Kontinentalnom dinaridskom subregionu (slika 1.).



Slika 1. Prikaz područja istraživanja

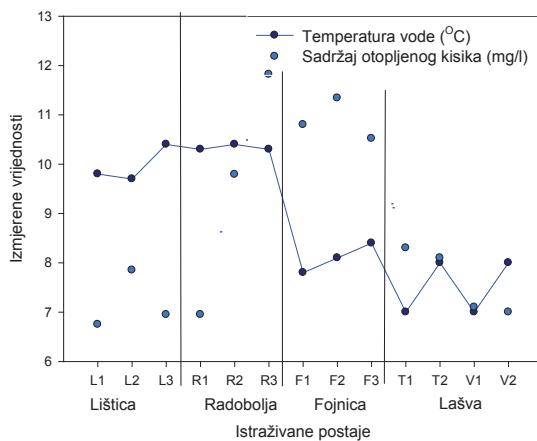
Svi mjereni fizikalni i kemijski parametri mjereni su odmah na terenu u studenom mjesecu 2014. godine. Fizikalno-kemijska svojstva određivana su za četiri vodotoka obuhvaćajući gornji, srednji i donji tok rijeke. Od fizikalnih parametara mjereni su temperatura i električna vodljivost, a od kemijskih količina otopljenog kisika izraženog u mg/L, pH vrijednost, tvrdoća vode, koncentracija otopljenih nitrata, nitrita, fosfata i amonijaka.

Vrijednosti pH, temperature, električne vodljivosti i sadržaja otopljenog kisika u vodi su mjereni na terenu terenskim kombiniranim mjeracem WTW Multi-Parameter Instruments. Ostali kemijski parametri, tvrdoća vode, koncentracija otopljenih nitrata, nitrita, fosfata i amonijaka, mjereni su terenskim priručnim laboratorijem AQUANAL-Fishwater Lab dizajniran za uzorkovanje i analizu vode na mjestu uzorkovanja.

REZULTATI I RASPRAVA

Kemijski sastav i fizikalna svojstva vode najčešći su ograničavajući činilac opstanka riječnih ekosustava.

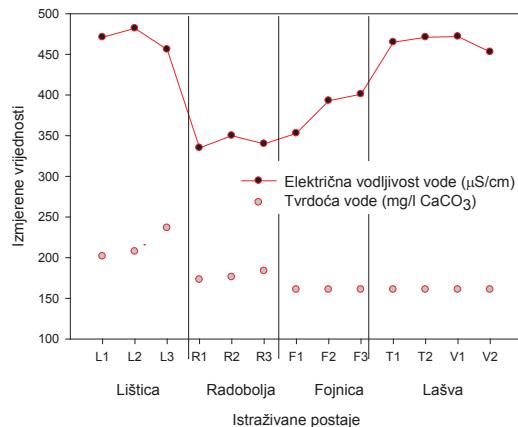
Temperatura predstavlja jedno od važnijih svojstava koji djeluju na skoro sva ostala fizikalno-kemijska svojstva vode. Također, njene vrijednosti nisu konstantne nego prate u svom riječnom toku promjene okoliša (Kumari i sur., 2013.). Odnosno, promjene temperature riječnih sustava su pod utjecajem sunčevih zraka, klimatskih uvjeta, geografskog položaja, sastava vegetacijskog pokrova, te karakteristikama riječnog toka (Pike i sur., 2010).



Slika 2. Izmjerene vrijednosti temperature vode i otopljenog kisika u vodi na istraživanim postajama

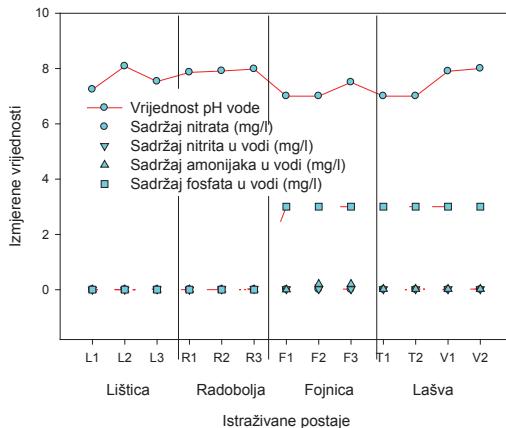
Vrijednosti temperature zabilježenih na rijekama Lištica i Radobolja kretali su se od 9,7 do 10,6 °C i značajno su se razlikovale od vrijednosti zabilježenih na rijekama Fojnica i Lašva gdje su se vrijednosti kretale od 7 do 8,4 °C. Razlike u temperaturama (slika 2.) mogu se objasniti različitim klimatskim uvjetima, geografskim položajem, te djelovanjem sunčevog zračenja.

Također, temperatura vodenih ekosustava značajno djeluje na sadržaj otopljenog kisika (Khanna i sur., 2012.). Više temperature smanjuju topljivost kisika u vodi dok u isto vrijeme povećavaju stopu metaboličkih reakcija u riječnim sustavima, povećavaju stopu fotosinteze, disanja i procesa nitrifikacije (Jacobson i sur., 2008). Vrijednosti otopljenog kisika u vodi su u skladu s vrijednostima izmjerena temperatura u rijeci Lištici i Fojnici te Radobolji. Treba naglasiti kako voda u koritu rijeke Radobolje često pravi slapove te je znatno izložena kontaktu s zrakom. Vrijednosti otopljenog kisika nisu u skladu izmjerenim vrijednostima temperature vode za rijeku Lašvu (slika 2.). Međutim, povisene koncentracije mineralnih tvari što se očituje preko električne vodljivosti (slika 3.) dijelom mogu objasniti smanjeni sadržaj otopljenog kisika u vodi, dok se dijelom mogu objasniti antropogenim utjecajem (Hiremath i sur., 2015.). Vrijednosti otopljenog kisika na rijeci Lašvi imale su vrijednost 8,3 i 8,1 mg/l na postajama T1 i T2 (prije i poslije Travnika) kao i 7,1 i 7 mg/l na postajama V1 i V2 (prije i poslije Viteza) što se može dovesti u vezu s unosom organskog materijala iz gradske kanalizacije što za posljedicu ima povećanje pH vrijednosti izmjerena prije i poslije naseljenih područja (slika 4.).



Slika 3. Grafički prikaz električne vodljivosti i tvrdoće vode izmjerenih na istraživanim postajama

Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$) vode je sposobnost vode da provodi električnu energiju što ovisi o prisutnosti iona u vodi uključujući i mineralne kiseline (Chang, 2003.). Vrijednosti električne vodljivosti povećavaju se s temperaturom i slanošću vode (Hem, 1985.) te je dobar pokazatelj onečišćenja vode (Durmishi i sur., 2013.). Povišene koncentracije iona fosfata i nitrata kao posljedica onečišćenja ili sastava sedimentnih stijena mogu dovesti do viših vrijednosti električne vodljivosti (Chang, 2003.). Vrijednosti električne vodljivosti za rijeku Lišticu kretale su se od 456 do 482 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dok je tvrdoća vode kretala od 201 do 236 mg/l CaCO_3 . Vrijednosti električne vodljivosti i tvrdoće vode kao i pH vrijednosti za rijeku Lišticu pokazivale su tipični karakter karbonatnih rijeka (Rađa i Šantić, 2014.). Vrijednosti električne provodljivosti za rijeku Radobolju su bile manje i kretale su se u rasponu od 335 do 340 $\mu\text{S}/\text{cm}$ što se može objasniti manjom tvrdoćom vode (slika 3.).



Slika 4. Koncentracija nitratnih, nitritnih, amonijevih i fosfatnih iona te izmjerena pH vrijednost na istraživanim postajama

Za rijeku Fojnicu i Lašvu vrijednosti tvrdoće vode bile su ujednačene i kretale su se oko 160,65 mg/l dok su vrijednosti električne provodljivosti bile povisene i kretale su se u rasponu 353 do 472 µS/cm (slika 3.). Također, i izmjerene vrijednosti fosfata bile su više i kretale su se u vrijednosti oko 3 mg/l (slika 4.). Koncentracije karbonatnih iona su obično više u vodama s niskom stopom mineralizacije, to jest s malom koncentracijom drugih iona (Dinka i sur., 2015.), što se dalje može dovesti u vezu s različitim strukturama tla na kojima se nalaze rijeke (Nikanorov i Brazhnikova, 2012.).

Na temelju izmjerenih vrijednosti može se zaključiti da proučavane rijeke (Lištica, Radobolja, Fojnicica i Lašva) su pod stalnim utjecajem okoliša koji je uvjetovan karakteristikama tla i klime i stalnim antropogenim utjecajem. Također, može se zaključiti da ovi vodeni sustavi su zadržali određenu kvalitetu, te se mogu kategorizirati u rijeke s dobrim i vrlo dobrim svojstvima.

ZAKLJUČAK

Cilj istraživanja je bio odrediti osnovna fizikalno-kemijska svojstva krških rijeka i procijeniti stupanj onečišćenja.

Na temelju mjerenja temperature, tvrdoće vode, električne provodljivosti možemo zaključiti da su rijeke Lištica i Radobolja tipične krške karbonatne rijeke što je uvjetovano kako klimatskim karakteristikama tako i svojstvima litološke podloge.

Povišene vrijednosti koncentracije iona u vodi, električne vodljivosti i niža tvrdoća za rijeku Fojnicu i Lašvu pokazatelj su izraženijeg utjecaja litološke podloge. Također, ove vrijednosti pokazuju i opterećenje voda izazvano antropogenim utjecajem (Dinka i sur., 2015.).

Međutim, na temelju istraživanih fizikalno-kemijskih parametara može se zaključiti da vode ispitivanih rijeka (Lištica, Radobolja, Fojnicica, Lašva) pripadaju kategoriji rijeka s dobrim ili vrlo dobrim svojstvima.

LITERATURA

- Chang, M., (2003.) Forest Hydrology: An Introduction To Water And Forests, BocaRaton:CRC Press
- Dinka, M.O., Loiskandl, W., Ndambuki, J.M. (2015.) *J. Hydrol.* **3**, 444-456.
- Durmishi, B.H., Reka, A.A., Ismaili, M. and Shabani, A. (2013.) *Universal J. Environ. Res. Technol.* **3**, 407-414.
- Field, M. S. (2002.) A lexicon of cave and karst terminology with special reference to environmental karst hydrology, US EPA.
- Hem, J.D. (1985.) Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, U. S. Geological Survey Water, USA.
- Hiremath, A.U., Koppad, R., Purandara, B.K., Shreedhar, R. (2015.) *Civ. Env. Res.* **7**, 32-40.
- Jacobson, R., Klang, J., Sinden, C., Regan, C., Munir, H. (2008.) Dissolved Oxygen TMDL Protocols and Submittal Requirements, Minnesota Pollution Control Agency, USA.
- Khanna, D.R., Bhutiani R., Gagan, M., Vikas, S. and Fouzia, I. (2012.), *Env. Con. J.* **13**, 119-124.
- Kumari, M., Mudgal, L.K. and Singh, A.K. (2013.), *Current World Environment* **8(3)**, 473-478.
- Nikanorov, A.M., Brazhnikova, L.V., (2012.), Types and Properties of Water II: Water Chemical Composition of Rivers, Lakes and Wetlands.
- Pike, R.G., Redding, T.E., Moore, R.D., Winkler, R.D. and Blandon, K.V. (2010.) Compendium of Forest Hydrology and Geomorphology in British Columbia, 401-440, Land Management Handbook, Ministry of Forest and Range, The British Columbia.
- Rada, B. and Šantić, M. (2014.), *J. Ins. Sci.* **14**, 1-10.

VASKULARNA FLORA U KRŠKIM RIJEKAMA TREBIŽATU I LIŠTICI (BOSNA I HERCEGOVINA)

A. Lasić¹, N. Jasprica²

¹Fakultet prirodoslovno-matematičkih i odgojnih znanosti, Sveučilište u Mostaru, Matrice hrvatske bb, 88000 Mostar, Bosna i Hercegovina

²Institut za more i priobalje, Sveučilište u Dubrovniku, Kneza Damjana Jude 12, 20000 Dubrovnik, Hrvatska

Rijeke Trebižat i Lištica dio su sliva Neretve, a nalaze se u zapadnoj Hercegovini (Bosna i Hercegovina). Pripadaju tipičnim dinarskim krškim vodotocima u čijem slijvu je vrlo slabo razvijena površinska hidrografska mreža i u kojem dominira podzemno oticanje. Floristička istraživanja u rijekama Trebižatu i Lištici obavljena su u razdoblju od 2007. do 2009. U radu je analizirana flora po pripadnosti porodicama, životnim oblicima i florim elementima. Ukupno je u Trebižatu utvrđeno 119, a u Lištici 51 biljna svojta, unutar 91 roda i 46 porodica. Porodice s najvećim brojem svojti su *Cyperaceae* (17 svojti, 13.28%) i *Lamiaceae* (13 svojti, 10.15%). S obzirom na donekle izmijenjen vodni režim rijeka te sušu koja je karakteristična za ljetno razdoblje, u spektru životnih oblika najzastupljeniji su hemikriptofiti (35.3 % T; 31.37 % L), zatim hidrofiti (21.1 % T; 25.49 % L) te geofiti (19.3 % T; 23.53 % L). Biljnogeografska analiza flore pokazala je da su najzastupljenije eurazijske i biljke široke rasprostranjenosti. U rijeci Trebižatu zabilježene su četiri svojte koje pripadaju kategoriji osjetljivih svojti (V, prema Šiliću 1996): *Adiantum capillus-veneris* L. (*Adiantaceae*), *Hippuris vulgaris* L. (*Hippuridaceae*), *Nuphar luteum* (L.) Sibth. & Sm. (*Nymphaeaceae*) i *Periploca graeca* L. (*Asclepiadaceae*). Rad će značajno doprinijeti poznavanju raznolikosti biljnih svojti, staništa ugroženih reliktnih vrsta i ekosustava te očuvanju prirode u Bosni i Hercegovini .

Ključne riječi: Dinarski krš; rijeke; biljna raznolikost; očuvanje prirode.

Literatura:

Šilić, Č., (1996). *Spisak biljnih vrsta (Pteridophyta i Spermatophyta) za Crvenu knjigu Bosne i Hercegovine. Glasnik Zemaljskog Muzeja Bosne i Hercegovine* 31, (NS), 323-367.

UVOD

Rijeke Trebižat i Lištica dio su sliva Neretve, a nalaze se u zapadnoj Hercegovini (Bosna i Hercegovina) (Sl. 1). Svojim tokom prolaze kroz općine Široki Brijeg i Mostar (rijeka Lištica) te Grude, Ljubaški i Čapljina (Rijeka Trebižat). Područja na kršu su redovito na površini bezvodna, iako kroz godinu imaju dosta oborina. Dio tokova je podzeman, njihova sposobnost samopropričavanja je smanjena kao i otpornost na antropogeni utjecaj (Gaberščik i sur. 1994). Specifični vodni režim maskira utjecaj ostalih ekoloških značajki. U usporedbi sa stalnim vodotocima, živi svijet je podložan ekstremnim promjenama vodostaja, uključujući sušni period (Gaberščik i sur. 2003). Rijeka Trebižat - desni pritok Neretve, dužine 50 km, je jedan od rijetkih površinskih vodotoka u središnjem dijelu zapadne Hercegovine. Rijeka Trebižat pripada tipičnim krškim vodotocima u čijem slivu je vrlo slabo razvijena površinska hidrografska mreža i u kojem dominira podzemno oticanje. Najveća dubina rijeke je 7 m, i to u gornjem toku. Površina orografskog slivnog područja je oko 1200 km², uključujući 90 km² područja Imotsko-Bekijskog polja. Na Trebižatu se javljuju sedrene barijere, uzrokovanе taloženjem sedre između kojih se stvaraju ujezerene površine čija dubina prelazi 4 m te kaskade kao posljedica tektonike. Dužina Lištice je 31,5 km, a slivno područje oko 220 km². Gornji tok rijeke prolazi naseljenim područjem Širokoga Brijega, dok donji, ravničarski dio, cijelom dužinom protječe krškom depresijom Mostarsko Blato u kojoj na kraju i ponire. Mostarsko Blato je plavljeno prosječno pet do šest mjeseci, najčešće od prosinca do svibnja.



Slika 1. Položaj krških rijeka Trebižata i Lištice

Flora i vegetacija krških rijeka u Bosni i Hercegovini relativno je slabo istraživana a floristički podaci su jako oskudni. Najveće močvarno područje u južnom submediteranskom dijelu Bosne i Hercegovine nalazi se u gornjem dijelu delte Neretve, a pripada parku prirode Hutovo Blato čija je površina 74 km², a 60% (oko 44 km²) pripada močvari. Hutovo Blato, kao i područje uz Neretvu od Mostarskog Blata do njezine delte je floristički i vegetacijski dobro istraženo (Riter-Studnička 1975, Bjelčić 1988, Lovrić i sur. 1989, Jasprica et al. 2003). U jugozapadnom dijelu Bosne i Hercegovine nalazi se akumulacija Buško jezero koja je značajan izvor raznolikosti močvarnih i vodenih biljnih zajednica (Šilić i Abadžić 1989). Buško Blato je krško polje koje je prije potapanja u potpunosti bilo obraslo prirodnim livadama i pašnjacima, koji su u pod izravnim utjecajem režima površinskih i podzemnih voda. Vegetacija vodenjara i močvarna vegetacija dobro su proučene uz rijeku Savu i sve njezine pritoke u Bosni i Hercegovini (Redžić i sur. 2007-2008). Najbolje razvijena vegetacija *Potametea* prisutna je u gornjem dijelu Plivskog jezera, priobalnom pojasu Spreče, na Baraći, Svilaju, Vojskovi, Lončarima Saničanima, Prnjavoru, dok uz neposrednu obalu rijeke Save uglavnom nije prisutna. Najvažniji lokaliteti na kojima se razvija vegetacija razreda *Phragmito australis-Magnocariceta elatae* jesu u području

ribnjaka Saničani, Bardača i Prnjavor, priobalnog pojasa jezera Modrac, zapadnom dijelu velikog Plivskog jezera, rukavcima u području Odžaka, Svilaje, Velike i Male Tišine te Lončara. Šegulja i sur. (1998) istraživali su floru šireg područja oko rijeke Une i utvrdili 682 boljne svojte. Močvare i vodenjare su danas najugroženiji ekosustavi u Bosni i Hercegovini, dok su njihova staništa ograničena na relativno male površine. Većina tih staništa u Europi su zaštićena posebnim propisima tj. Direktivom o pticama i Direktivom o staništima. Cilj ovog rada bio je po prvi put utvrditi vodene i močvarne biljne svojte u krškim rijekama Trebižatu i Lištici, njihovu pripadnost porodicama, životnim oblicima i flornim elementima.

MATERIJALI I METODE

Istraživanja biljnih zajednica na Trebižatu i Lištici su provedena u razdoblju od 2007. do 2009. tijekom maksimuma razvoja vegetacije tj. od lipnja do listopada. Biljke koje nije bilo moguće determinirati na terenu, sakupljene su i herbarizirane, te naknadno determinirane u laboratoriju uz pomoć identifikacijskih ključeva. Za identifikaciju su korišteni sljedeći ključevi i djela: Hegi (1906-1931), Hayek (1927-1933), Javorka i Csapody (1934), Tutin i sur. (1964-1980, 1993), Josifović i sur. (1970-1977), Ehrendorfer (1973), Garecke (1972), Pignatti (1982), Domac (1994) i dr. Nomenklatura biljnih svojstva je usklađena prema djelu *Flora Europaea* (Tutin i sur. 1964-1980, 1993). Za svaku svojtu određen je florni element, životni oblik te pripadnost odgovarajućoj porodici. Životni oblici usklađeni su prema djelu *Flora d'Italia* (Pignatti 1982). Uz svaku svojtu je u popisu flore navedena kratka pripadajućeg životnog oblika: *Phanerophyta* (P), *Nanophanerophyta* (NP), *Chamaephyta* (Ch), *Hemicryptophyta* (H), *Geophyta* (G), *Therophyta* (T) i *Hydrophyta* (Hy).

Klasifikacija svojstava u pripadajuće florne elemente izvršena je prema Pignatti (1982), Horvatiću (1963) te Horvatiću i sur. (1967/1968). Svojstva su svrstane u deset skupina s pripadajućim podskupinama. U popisu svojstava uz svaku svojtu navedena je kratka pripadajućeg flornog elementa:

1. MEDITERANSKI (SREDOZEMNI) FLORNI ELEMENT

- 1.1. Općemediteranske ili cirkummediteranske biljke (OME)
- 1.2. Zapadnomediteranske biljke (ZMB)
- 1.3. Istočnomediteranske biljke (IME)
- 1.4. Mediteransko-atlantske biljke (MAB)
- 1.5. Europsko-mediteranske biljke (EUM)

2. JUŽNOEUROPSKI FLORNI ELEMENT

- 2.1. Južnoeuropsko-mediteranske biljke (JEM)
- 2.2. Južnoeuropsko-pontske biljke (JEP)

3. JUGOISTOČNOEUROPSKI FLORNI ELEMENT (JFE)

4. SREDNJOEUROPSKI FLORNI ELEMENT (SFE)

5. ZAPADNOEUROPSKI FLORNI ELEMENT (ZFE)

6. EUROPSKI FLORNI ELEMENT (EUR)

7. EURAZIJSKI FLORNI ELEMENT (EUZ)

8. BILJKE CIRKUMHOLARKTIČKE RASPROSTRANJENOSTI (BCH)

9. BILJKE ŠIROKE RASPROSTRANJENOSTI (BŠR)

10. KULTIVIRANE I ADVENTIVNE BILJKE (KAB)

U popisu biljnih svojstava navedena je kategorija ugroženosti prema *Spisku biljnih vrsta (Ptleridophyta i Spermatophyta) za Crvenu knjigu Bosne i Hercegovine* (Šilić 1996), a koji slijedi kriterije IUCN: ugrožena (E), osjetljiva (V), rijetka (R), nedovoljno poznata (K).

REZULTATI I RASPRAVA

Ukupno je u Trebižatu utvrđeno 119, a u Lištici 51 biljna svojta, unutar 91 roda i 46 porodica (Tab. 1.). Zajedničkih svojti je 42. Porodice s najvećim brojem svojti su *Cyperaceae* (17 svojti, 13.28%), a zatim slijede *Lamiaceae* (13 svojti, 10.15%), *Poaceae* (9 svojti, 7.03%) te *Potamogetonaceae* i *Asteraceae* po sedam svojti (7 svojti, 5.46 %).

Tablica 1. Taksonomska pripadnost, florni elementi i životni oblici biljnih svojta u Trebižatu (T) i Lištici (L) (kratice za životne oblike, florne elemente i kategoriju

Ime svojte	Porodica	Florni element	Životni oblik	Ugroženost	Rijeka
<i>Adiantum capillus veneris</i> L.	<i>Adiantaceae</i>	MAB	G	V	T
<i>Agrostis stolonifera</i> L.	<i>Poaceae</i>	BCH	H		T, L
<i>Ajuga genevensis</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	EUZ	H		T
<i>Ajuga reptans</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	EUZ	H		T
<i>Alisma gramineum</i> Lej.	<i>Alismataceae</i>	EUZ	Hy		L
<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	<i>Alismataceae</i>	BŠR	Hy		T, L
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertner	<i>Betulaceae</i>	EUZ	P		T
<i>Artemisia annua</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	EUZ	T		T, L
<i>Berula erecta</i> (Hudson) Coville	<i>Apiaceae</i>	BCH	G		T, L
<i>Briza media</i> L.	<i>Poaceae</i>	EUZ	H		T
<i>Calystegia sepium</i> (L.) R. Br.	<i>Convolvulaceae</i>	JEM	H		T
<i>Carex arenaria</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	JEM	G		T
<i>Carex divulsa</i> Stokes	<i>Cyperaceae</i>	EUM	H		T
<i>Carex elata</i> All.	<i>Cyperaceae</i>	EUR	H		T
<i>Carex pendula</i> Hudson	<i>Cyperaceae</i>	EUZ	Ch		T
<i>Carex paniculata</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	BCH	H		T
<i>Carex vulpina</i> L	<i>Cyperaceae</i>	EUR	H		T
<i>Carex vesicaria</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	BCH	Ch		T
<i>Centaurea scabiosa</i> L.	<i>Asteraceae</i>	EUZ	H		L
<i>Centaurium pulchellum</i> (Swartz) Druce	<i>Gentianaceae</i>	EUZ	T		T
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	<i>Ceratophyllaceae</i>	BŠR	Hy		T, L
<i>Cichorium intybus</i> L.	<i>Cichoriaceae</i>	BŠR	H		T
<i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop.	<i>Asteraceae</i>	EUZ	H		T
<i>Clematis vitalba</i> L.	<i>Ranunculaceae</i>	EUR	P		T
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	<i>Convolvulaceae</i>	BŠR	G		T
<i>Cornus mas</i> L.	<i>Cornaceae</i>	JEP	P		T
<i>Cyperus longus</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	JEM	G		T, L
<i>Cyperus glaber</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	EUZ	T		L

Ime svoje	Porodica	Florni element	Životni oblik	Ugrozenost	Rijeka
<i>Daucus carota</i> L.	<i>Apiaceae</i>	EUZ	H	T	
<i>Eleocharis acicularis</i> (L.) Roemer & Schultes	<i>Cyperaceae</i>	BŠR	G	T	
<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roemer & Schultes	<i>Cyperaceae</i>	BŠR	G	T	
<i>Equisetum fluviatile</i> L.	<i>Equisetaceae</i>	BCH	G	T	
<i>Equisetum palustre</i> L	<i>Equisetaceae</i>	BCH	G	T, L	
<i>Eriophorum latifolium</i> Hoppe	<i>Cyperaceae</i>	EUZ	H	T	
<i>Erysimum repandum</i> L.	<i>Brassicaceae</i>	EUM	T	L	
<i>Eupatorium cannabinum</i> L.	<i>Asteraceae</i>	EUZ	H	T, L	
<i>Ficus carica</i> L.	<i>Moraceae</i>	OME	P	T	
<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl	<i>Oleaceae</i>	JFE	P	T, L	
<i>Galium palustre</i> L.	<i>Rubiaceae</i>	EUZ	H	T, L	
<i>Geranium lucidum</i> L.	<i>Geraniaceae</i>	EUM	T	T	
<i>Glyceria fluitans</i> (L.) R. Br.	<i>Poaceae</i>	BŠR	Hy	T	
<i>Glyceria maxima</i> (Hartman) Holmberg	<i>Poaceae</i>	BCH	Hy	T	
<i>Gratiola officinalis</i> L.	<i>Scrophulariaceae</i>	BCH	H	T, L	
<i>Hippuris vulgaris</i> L.	<i>Hippuridaceae</i>	BŠR	Hy	V T	
<i>Humulus lupulus</i> L.	<i>Cannabaceae</i>	BCH	P	T	
<i>Iris pseudacorus</i> L.	<i>Iridaceae</i>	EUZ	G	T	
<i>Juglans regia</i> L.	<i>Juglandaceae</i>	KAB	P	T	
<i>Juncus articulatus</i> L.	<i>Juncaceae</i>	BCH	G	T, L	
<i>Juncus articulatus</i> L. var. <i>articulatus</i>	<i>Juncaceae</i>	BCH	G	T	
<i>Juncus articulatus</i> L. f. <i>palidiflorus</i>	<i>Juncaceae</i>	BCH	G	T	
<i>Juncus compressus</i> Jacq.	<i>Juncaceae</i>	EUZ	G	L	
<i>Juncus striatus</i> Schousboe ex. E. H. F. Meyer	<i>Juncaceae</i>	ZMB	G	L	
<i>Lathyrus niger</i> (L.) Bernh.	<i>Fabaceae</i>	EUR	G	T	
<i>Lemna minor</i> L.	<i>Lemnaceae</i>	BŠR	Hy	T	
<i>Lycopus europaeus</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	BCH	H	T, L	
<i>Lycopus exaltatus</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	EUZ	H	T	
<i>Lythrum salicaria</i> L.	<i>Lythraceae</i>	BŠR	H	T, L	
<i>Lysimachia nummularia</i> L.	<i>Primulaceae</i>	EUR	H	T, L	
<i>Mentha aquatica</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	BŠR	H	T, L	
<i>Mentha pulegium</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	EUZ	H	T, L	
<i>Mentha spicata</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	EUM	H	T	

Ime svojte	Porodica	Florni element	Životni oblik	Ugroženost	Rijeka
<i>Morus alba</i> L.	<i>Moraceae</i>	KAB	P	T	
<i>Mycelis muralis</i> (L.) Dumart	<i>Cichoriaceae</i>	EUZ	H	T	
<i>Myosotis scorpioides</i> L.	<i>Boraginaceae</i>	BCH	H	T, L	
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	<i>Haloragaceae</i>	EUZ	Hy	T, L	
<i>Myriophyllum verticillatum</i> L.	<i>Haloragaceae</i>	BCH	Hy	T, L	
<i>Nuphar luteum</i> (L.) Sibth. & Sm.	<i>Nymphaeaceae</i>	EUZ	Hy	V T	
<i>Nymphaea alba</i> L.	<i>Nymphaeaceae</i>	EUZ	Hy	T	
<i>Oenanthe aquatica</i> (L.) Poir.	<i>Apiaceae</i>	EUZ	H	T	
<i>Parietaria diffusa</i> Mert. & W. D. J. Koch	<i>Urticaceae</i>	JEM	H	T	
<i>Paspalum paspalodes</i> (Michx.) Scribn.	<i>Poaceae</i>	KAB	P	T	
<i>Periploca graeca</i> L.	<i>Asclepiadaceae</i>	IME	P	V T	
<i>Peucedanum palustre</i> (L.) Moench	<i>Apiaceae</i>	EUR	H	T	
<i>Phalaris arundinacea</i> L.	<i>Poaceae</i>	BCH	Ch	T	
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	<i>Poaceae</i>	BŠR	Hy	T, L	
<i>Plantago altissima</i> L.	<i>Plantaginaceae</i>	JEM	H	T	
<i>Plantago major</i> L.	<i>Plantaginaceae</i>	BŠR	H	T	
<i>Poa palustris</i> L.	<i>Poaceae</i>	BCH	H	T	
<i>Poa bulbosa</i> L.	<i>Poaceae</i>	EUZ	H	T	
<i>Polygonum amphibium</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	BŠR	G	T, L	
<i>Polygonum persicaria</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	BŠR	T	T, L	
<i>Populus alba</i> L.	<i>Salicaceae</i>	EUZ	P	T	
<i>Potamogeton crispus</i> L.	<i>Potamogetonaceae</i>	BŠR	Hy	T	
<i>Potamogeton coloratus</i> Hornem.	<i>Potamogetonaceae</i>	BŠR	Hy	T	
<i>Potamogeton gramineus</i> L.	<i>Potamogetonaceae</i>	BCH	Hy	T, L	
<i>Potamogeton lucens</i> L.	<i>Potamogetonaceae</i>	BCH	Hy	T, L	
<i>Potamogeton natans</i> L.	<i>Potamogetonaceae</i>	BŠR	Hy	T	
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	<i>Potamogetonaceae</i>	BŠR	Hy	T, L	
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	<i>Potamogetonaceae</i>	BŠR	Hy	T, L	
<i>Pulicaria dysenterica</i> (L.) Bernh.	<i>Asteraceae</i>	JEM	H	T, L	
<i>Pulicaria vulgaris</i> Gaertner	<i>Asteraceae</i>	EUZ	T	L	
<i>Ranunculus acris</i> L. subsp. <i>friesianus</i> (Jord.) Rouy & Foucaud	<i>Ranunculaceae</i>	ZFE	H	T	
<i>Ranunculus circinatus</i> Sibth.	<i>Ranunculaceae</i>	EUZ	Hy	T	
<i>Ranunculus fluitans</i> Lam.	<i>Ranunculaceae</i>	BCH	Hy	T	
<i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix	<i>Ranunculaceae</i>	EUR	Hy	T, L	

Ime svoje	Porodica	Florni element	Životni oblik	Ugroženost	Rijeka
<i>Ranunculus repens</i> L.	<i>Ranunculaceae</i>	BŠR	H	T	
<i>Rorippa amphibia</i> (L.) Besser	<i>Brassicaceae</i>	EUZ	H	T, L	
<i>Rorippa sylvestris</i> (L.) Besser	<i>Brassicaceae</i>	EUZ	H	L	
<i>Rumex obtusifolius</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	BŠR	H	T	
<i>Rumex pulcher</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	EUM	H	T	
<i>Rubus ulmifolius</i> Schott	<i>Rosaceae</i>	EUM	NP	T	
<i>Salix alba</i> L.	<i>Salicaceae</i>	EUZ	P	T, L	
<i>Salix purpurea</i> L.	<i>Salicaceae</i>	EUZ	P	T, L	
<i>Scirpus holoschoenus</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	JEM	G	T	
<i>Scirpus lacustris</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	BŠR	G	T, L	
<i>Scirpus lacustris</i> L. subsp. <i>tabernaemontani</i> (C. C. Gmel.) Syme	<i>Cyperaceae</i>	BŠR	G	T, L	
<i>Scirpus maritimus</i> L. subsp. <i>maritimus</i> Drobow	<i>Cyperaceae</i>	BŠR	G	L	
<i>Scirpus triquetus</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	BCH	G	T	
<i>Scutellaria galericulata</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	BCH	G	T, L	
<i>Sium latifolium</i> L.	<i>Apiaceae</i>	SFE	Ch	T, L	
<i>Solanum dulcamara</i> L.	<i>Solanaceae</i>	BŠR	NP	T	
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill.	<i>Asteraceae</i>	EUZ	T	T	
<i>Spirodela polyrrhiza</i> (L.) Schleid.	<i>Lemnaceae</i>	BŠR	Hy	T	
<i>Sparganium emersum</i> Rehman	<i>Sparganiaceae</i>	EUZ	Hy	T	
<i>Sparganium erectum</i> L.	<i>Sparganiaceae</i>	EUZ	Hy	T, L	
<i>Stachys palustris</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	BCH	Hy	T, L	
<i>Symphytum officinale</i> L.	<i>Boraginaceae</i>	EUR	H	T	
<i>Teucrium scordium</i> L. subsp. <i>scordioides</i> (Schreb.) Maire & Petitm.	<i>Lamiaceae</i>	EUZ	H	T	
<i>Thymus pulegioides</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	EUZ	Ch	T	
<i>Tussilago farfara</i> L.	<i>Asteraceae</i>	EUR	G	T	
<i>Typha latifolia</i> L.	<i>Typhaceae</i>	BŠR	G	T, L	
<i>Xantium strumarium</i> L.	<i>Asteraceae</i>	BŠR	T	T, L	
<i>Ulmus laevis</i> Pallas	<i>Ulmaceae</i>	SFE	P	T	
<i>Veronica anagallis-aquatica</i> L.	<i>Scrophulariaceae</i>	BŠR	H	T, L	
<i>Veronica beccabunga</i> L.	<i>Scrophulariaceae</i>	EUZ	H	T, L	
<i>Vitex agnus castus</i> L.	<i>Verbenaceae</i>	OME	P	T	
<i>Vitis vinifera</i> L.	<i>Vitaceae</i>	BŠR	P	T	
<i>Vitis vinifera</i> L. subsp. <i>sylvestris</i> (C. C. Gmel.) Hegi	<i>Vitaceae</i>	BŠR	P	T	

U Trebižatu je utvrđena najveća zastupljenost eurazijskog flornog elementa (26.89 %), zatim slijede biljke široke rasprostranjenosti (26.05 %) te biljke cirkumholarktičke rasprostranjenosti (19.32 %). Isto tako, u Lištici najveći broj svojih pripada eurazijskom flornom elementu (31 %), zatim biljkama široke rasprostranjenosti (29 %) te cirkumholarktičkim biljkama (24.1 %) (Tab. 2).

Tablica 2. Zastupljenost flornih elemenata u Trebižatu i Lištici.

Florni elementi	Broj svojti Trebižat	%	Broj svojti Lištica	%
1. MEDITERANSKI (SREDOZEMNI) FLORNI ELEMENT	9	7.57	2	3.9
1.1. Općemediteranske ili cirkummediteranske biljke (OME)	2	1.68	-	-
1.2. Zapadnomediteranske biljke (ZMB)	-	-	1	2
1.3. Istočnomediteranske biljke (IME)	1	0.84	-	-
1.4. Mediteransko-atlantske biljke (MAB)	1	0.84	-	-
1.5. Europsko-mediteranske biljke (EUM)	5	4.2	1	2
2. JUŽNOEUROPSKI FLORNI ELEMENT	8	6.72	2	3.9
2.1. Južnoeuropsko-mediteranske biljke (JEM)	7	5.88	2	3.9
2.2. Južnoeuropsko-pontske biljke (JEP)	1	0.84	-	-
3. JUGOISTOČNOEUROPSKI FLORNI ELEMENT (JFE)	1	0.84	1	2.1
4. SREDNJOEUROPSKI FLORNI ELEMENT (SFE)	2	1.68	1	2.1
5. ZAPADNOEUROPSKI FLORNI ELEMENT (ZFE)	1	0.84	-	-
6. EUROPSKI FLORNI ELEMENT (EUR)	9	7.57	2	3.9
7. EURAZIJSKI FLORNI ELEMENT (EUZ)	32	26.89	16	31
8. BILJKE CIRKUMHOLARKTIČKE RASPROSTRANJENOSTI (BCH)	23	19.32	12	24.1
9. BILJKE ŠIROKE RASPROSTRANJENOSTI (BŠR)	31	26.05	15	29
10. KULTIVIRANE I ADVENTIVNE BILJKE (KAB)	3	2.52	-	-
Ukupno	119	100	51	100

U analizi životnih oblika najveću zastupljenost u Trebižatu imaju hemikriptofiti (35.3 %), zatim slijede hidrofiti (21.1 %) te geofiti (19.3 %). U Lištici su najbrojniji hemikriptofiti (31.37 %) nakon kojih slijede hidrofiti (25.49 %) i geofiti (23.53 %) (Tab. 3).

Tablica 3. Zastupljenost životnih oblika u Trebižatu i Lištici.

Životni oblici	Broj svojti Trebižat	%	Broj svojti Lištica	%
<i>Hemicryptophyta</i> (H)	42	35.3	16	31.37
<i>Hydrophyta</i> (Hy)	25	21.1	13	25.49
<i>Geophyta</i> (G)	23	19.3	12	23.53
<i>Phanerophyta</i> (P)	17	14.2	3	5.88
<i>Therophyta</i> (T)	6	5	6	11.76
<i>Chamaephyta</i> (Ch)	4	3.4	1	1.97
<i>Nanophanerophyta</i> (NP)	2	1.7	-	-
Ukupno	119	100	51	100

U rijeci Trebižat zabilježene su četiri svojte koje pripadaju kategoriji osjetljivih svojti (V, prema Šiliću 1996):

1. *Adiantum capillus-veneris* L. (*Adiantaceae*)
2. *Hippuris vulgaris* L. (*Hippuridaceae*)
3. *Nuphar luteum* (L.) Sibth. & Sm. (*Nymphaeaceae*)
4. *Periploca graeca* L. (*Asclepiadaceae*)

U Lištici nije zabilježena svojta koja pripada jednoj od kategorija naznačenih u *Spisku biljnih vrsta (Pteridophyta i Spermatophyta) za Crvenu knjigu Bosne i Hercegovine* (Šilić 1996).

U Trebižatu je utvrđen dvostruko veći broj biljnih svojti nego u Lištici. U obje rijeke dominiraju hemikriptofiti te nakon njih hidrofiti, što nas upućuje na prisutnost terestričkih vrsta, a može biti posljedica uzorkovanja u različitim razdobljima tijekom vegetacijske sezone (Ferreira i Aguiar 2006). Schessl (1999) ističe kako u poplavnom području Pantala u Brazilu suha mjesta uz obalu zauzima vegetacija u kojoj dominiraju hemikriptofiti. Kolonizacija riječnih obala terestričkim biljnim vrstama uslijed nepovoljnih klimatskih uvjeta i nestalnih protoka vode je vidljiva u mediteranskim rijekama na jugu Portugala. Većina terestričkih vrsta su korovne, ruderalne te nitrofilne ili sklerofilne vrste tipične za mediteranske livade (Ferreira i Moreira 1999, Ferreira i sur. 2004). Visok postotak hemikriptofita (28.95 %) zabilježen je i u kanalu Jegrička u Srbiji (Lazić i sur. 2004).

U obje rijeke je utvrđena najveća zastupljenost eurazijskog flornog elementa zatim slijede biljke široke rasprostranjenosti. Analiza flornih elemenata ukazuje na dominaciju biljnih vrsta iz grupe flornih elemenata širokog rasprostranjenja (eurazijskog te biljaka široke rasprostranjenosti) što je karakteristika svih vodenih ekosustava, kao posljedica relativno ujednačenih uvjeta vode kao životne sredine. Slične rezultate navode Kovačević i Stojanović (2008) za kompleks Bradaču te Lazić i sur. (2004) za kanal Jegrička (Vojvodina, sjeverna Srbija).

ZAKLJUČAK

U Trebižatu je utvrđeno 119, a u Lištici 51 biljna svojta, svrstanih unutar 91 roda i 46 porodica. Zajedničkih svojti je 42. U obje rijeke je utvrđena najveća zastupljenost eurazijskog flornog elementa, zatim biljaka široke rasprostranjenosti te cirkumholarktičke rasprostranjenosti. Najviše je bilo hemikriptofita, zatim hidrofita te geofita. U Trebižatu su zabilježene četiri svojte koje pripadaju kategoriji osjetljivih svojti (V): *Adiantum capillus-veneris* L., *Hippuris vulgaris* L., *Nuphar luteum* (L.) Sibth. & Sm., *Periploca graeca* L., dok u Lištici nije zabilježena nijedna svojta iz Spiska biljnih vrsta (Pteridophyta i Spermatophyta) za Crvenu knjigu Bosne i Hercegovine (Šilić 1996). Rad predstavlja značajan doprinos poznavanju raznolikosti biljnih svojti, staništa ugroženih reliktnih vrsta i ekosustava u Bosni i Hercegovini.

LITERATURA

- Domac, R., (1994) Flora Hrvatske, priručnik za određivanje bilja. Školska knjiga, Zagreb.
- Ehrendorfer, F., (1973) Liste der Gefasspflanzen Mitteleuropas. 2e Aufl. Stuttgart: G. Fischer xii.
- Ferreira, M. T., Moreira, I. S., (1999) River plants in Iberian basin and environmental factors influencing their distribution. *Hydrobiologia* 415, 101-107.

- Ferreira, M. T., Aguiar, F., Moreira, I., (2004) Macrófitos fluviais. Padrões espaciais de distribuição e factores ambientais determinantes. In: *Gestão ambiental dos sistemas fluviais. Aplicação à bacia hidrográfica do rio Sado*. Moreira, I., Saraiva, M. G., Nunes-Correia, F. (eds.): 247-264. ISAPress, Lisbon, Portugal.
- Ferreira, M. T., Aguiar, F., (2006) Riparian and aquatic vegetation i Mediterranean-type streams (western Iberia). *Limnetica* 25, 411-424.
- Gaberščik, A., Kosi, G., Krušnik, C., Urbanc-Berčić, O., Bricelj, M. (1994) Kvaliteta voda v Cerniškem jezeru in njegovih pritokih/water quality in Cerknica Lake and its tributaries. *Acta Carsologoca* 23, 266-283.
- Gaberščik, A., Urbanc-Berčić, O., Kržič, N., Kosi, G., Brancelj, A. (2003) The intermittent Lake Cerknica: Various faces of the same ecosystem. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* 8, 159-168.
- Garcke, A. (1972) *Illustrierte Flora*, Verlag Paul Parey, Berlin-Hamburg.
- Hayek, A. (1927-1933) *Prodromus florae peninsulae Balkanicae* I-III. Berlin-Dahlem.
- Hegi, G. (1906-1931) *Illustrierte Flora von Mitteleuropa* I-VI. Car Hanser Verlag. München.
- Horvatić, S. (1963) Vegetacijska karta otoka Paga s općim pregledom vegetacijskih jedinica hrvatskog primorja. Prirodoslovna istraživanja JAZU, serija *Acta biologica* 4, 5-181.
- Horvatić, S., Ilijanić, Lj., Marković-Gospodarić, Lj. (1967-1968) Biljni pokrov okoline Senja. *Senjski zbornik* 3, 298-322.
- Javorka, S., Csápody, V. (1934) A magyar flóra Képekben (Iconographia Flora Hungaricae). "Studium", Budapest.
- Josifović, M., Stjepanović, L., Kojić, M., Diklić, N., (ur.) (1970.-1977) *Flora SR Srbije*. Beograd: SANU - Odeljenje prirodno-matematičkih nauka.
- Kovačević, Z., Stojanović, S. (2008) Akvatični korovi kompleksa Bardača. *Acta herbologica* 17, 129-135.
- Lakušić, R., Pavlović, D., Abadžić, S., Grgić, P. (1978) Prodromus biljnih zajednica Bosne i Hercegovine. *Godišnjak Biološkog Instituta Univerziteta Sarajevo* 30. Posebno izdanje.
- Lazić, D., Stojanović, S., Boža, P. P., Knežević, A., Nikolić, Lj. (2004) Vascular macrophytes of the jegricka watercourse-spectra of life forms and floristic elements. *Acta herbologica* 13, 95-100.
- Lovrić, A. Ž., Rac, M. (1989) Mediteranska močvarna vegetacija i florističke zanimljivosti uz donju Neretvu od Čapljine do mora. Zbornik referata naučnog skupa „Minerali, stijene, izumrli i živi svijet BiH“, Zemaljski muzej BiH, Sarajevo, 7.-8-10-1988., 365-373.
- Pignatti, S., 1982. *Flora d'Italia* I-III. Edagricole, Bologna.
- Redžić, S. i sur., 2007-2008. Protection of Biodiversity of the Sava River Basin Floodplains. IUCN – International Union of Conservation Nature (IUCN Project Number: 76738-000/010/CEPRES): Center of Ecology and Natural Resources, Faculty of Science University of Sarajevo.

- Redžić, S., Barudanović, S., Radović, M. (ur.), 2008. Bosna i Hercegovina – zemlja raznolikosti. Pregled i stanje biološke i pejzažne raznolikosti Bosne i Hercegovine: prvi izvještaj Bosne i Hercegovine za konvenciju o biološkoj raznolikosti. Federalno ministarstvo okoliša i turizma, Sarajevo.
- Riter-Studnička, H., i Grgić, P., 1975. Izvještaj za vegetacijsku kartu Jugoslavije. – Popovo polje i Hutovo Blato. Elaborat Biološkog instituta Univerziteta u Sarajevu.
- Šegulja, N., Lj. Ilijanić, Lj. Marković, 1998: Prikaz i analiza fl ore Zrinske gore, Acta Bot. Croat., 55–56: 65–99.
- Schessl, M., 1999. Floristic Composition and Structure of Floodplain Vegetation in the Northern Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Phyton (Horn, Austria)* 39, 303-336.
- Šilić, Č., i Abadžić, S., 1989. Prikaz makrofitske vegetacije Buškog jezera (Bosna) i užeg priobalnog područja. *Glasnik Zemaljskog Muzeja Bosne i Hercegovine* 28, 129-141.
- Šilić, Č., 1996. *Spisak biljnih vrsta (Pteridophyta i Spermatophyta) za Crvenu knjigu Bosne i Hercegovine*. *Glasnik Zemaljskog Muzeja Bosne i Hercegovine* 31, (NS), 323-367.
- Štambuk-Giljanović, N., 1998. Vode Neretve i njezina poriječja. Zavod za javno zdravstvo Županije splitsko -dalmatinske, Hrvatske vode, Zagreb.
- Tutin, T. G., Burges, N. A., Chater, A. G., Edmondson, J. R. E., Heywood, V. H., Moore, D. M., Valentine, D. H., Walters, S. M., Webb, D. A., 1964-1980. Flora Europaea 1-5. Cambridge University Press.
- Tutin, T. G., Burges, N. A., Chater, A. O., Edmondson, J. R., Heywood, V. H., Moore, D. M., Valentine, D. H., Walters, S. M., Webb, D. A., (eds.), 1993. Flora Europaea 1-5. (2nd edn., reprint 2002), University Press, Cambridge.

UČINAK TEŠKIH METALA NA VRSTU *Polycelis felina* DALYELL, 1814

L. Knezović¹, V. Matković², M. Kalafatić³, N. Rajević³, B. Džeba⁴

¹Fakultet prirodoslovno-matematičkih i odgojnih znanosti Sveučilišta u Mostaru, Matice hrvatske bb, 88 000 Mostar, BiH

²Frankopanska 17, 88 220 Široki Brijeg, BiH

³Prirodoslovno matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb, RH

⁴Akademika Ivana Zovke 7, 88 000 Mostar, BiH

SAŽETAK

Vrsta *Polycelis felina* Dalyell, 1814 ili mnogooka puzavica pripada razredu Turbellaria (virnjaci), redu Tricladida (trocrijevci). Dobar je model za istraživanje zbog jednostavnog prikupljanja i održavanja u laboratoriju. Znanstvenicima je posebno zanimljiva zbog neoblasta, jedinih stanica u planarija koje se mogu mitotski dijeliti i diferencirati u bilo koji od 12-14 tipova stanica koje posjeduju. Totipotentne su, zbog čega ih povezujemo s embrionalnim matičnim stanicama ljudi. U ovom radu istražen je učinak teških metala, mangana i kadmija, na vrstu *P. felina*. Rezultati dobiveni ovim istraživanjem pokazali su toksičnost spomenutih metala na ovu vrstu, čak u jako malim koncentracijama. Djelovanje 1 mM otopine mangana dovelo je do 10 % smrtnosti jedinki, a 1,95 µM otopina kadmija dovela je do 20 % smrtnosti jedinki 24h nakon tretmana.

KLJUČNE RIJEČI: trocrijevci; *Polycelis*; mangan; kadmij; *Crenobia* sp.

UVOD

Planarije su jedan od boljih životinjskih model organizama za istraživanje u razvojnoj biologiji, bilo da je riječ o regeneraciji (Newmark i Sánchez Alvarado, 2002) ili o neurofarmakologiji (Butarelli i sur., 2008). Planarije posjeduju posebno zanimljive stanice, neoblaste, koje su ujedno i jedine stanice kod planarija koje se mitotski dijeli. Totipotentne su (Betchaku, 1967; 1970; Coward i sur., 1970; Lange, 1966; 1968), što znači da se mogu diferencirati u bilo koji od 12-14 specijaliziranih tipova stanica (Baguña i Romero, 1981). Planarije u više različitih zemljopisnih regija predstavljaju indikatore kvalitete voda za procjenu učinka različitih toksičnih tvari (Calevro i sur., 1998). Korištenje planarija kao predmeta istraživanja ima nekoliko prednosti. Prikupljanje na terenu i održavanje životinja u laboratoriju ne predstavlja problem jer ne zahtijevaju posebnu laboratorijsku opremu.

Teški metali obuhvaćaju metale čija je gustoća veća od 5 g/cm³. Čitav niz ovih metala je u obliku elemenata u tragu neophodan, esencijalan za mnogobrojne funkcije u ljudskom organizmu, a njihov nedostatak dovodi do zdravstvenih problema. Tako se javlja anemija kod manjka željeza, dijabetes kod manjka kroma, problemi u rastu kod manjka nikla. Za olovo, kadmij, živu, arsen i molibden dokazano je da u većim količinama izazivaju toksično djelovanje. Kada će neka tvar biti toksična ovisi o količini te tvari koja varira kod svakog pojedinog elementa. Teški metali u obliku finih čestica mogu dospjeti u atmosferu, odakle se talože u vodama i tlu. Kruženje teških metala u prirodi ovisi o promjenama kojima ti metali podliježu. U vodama se brzo razrjeđuju i talože kao teško topivi karbonati, sulfati ili sulfidi na dnu vodenih površina. Kada se adsorpcijski kapacitet sedimenta iscrpi, raste koncentracija metalnih iona u vodi. Ukoliko se nađu u ionskom obliku vežu se na skupine proteina, točnije

enzima odgovornih za metaboličke reakcije u organizmu. Za mnoge teške metale utvrđeno je da imaju mutageni i kancerogeni učinak.

Mangan je deseti element po rasprostranjenosti u Zemljinoj kori gdje ga ima više nego bilo kojeg drugog teškog metala, osim željeza. U prirodi se najčešće pojavljuje u obliku: MnO₂ - piroluzit ili suri kamen, Mn₃O₄ - hausmanit i Mn₂O₃ - braunit (Filipović i Lipanović, 1995). Maksimalna koncentracija mangana u vodama za piće je 0.05 mg/L. Za živa bića mangan je esencijalni oligoelement koji u prevelikim količinama postaje toksičan za organizam. Mutagen je za bakteriofage, kvasce i životinjske stanice, ubrzava transformaciju stanica u kulturi i povećava razinu pogrešaka u replikaciji DNA *in vivo* (Joardar i Sharma, 1990).

Kadmij je kao elementarna tvar mekan, srebrno-bijeli metal, prilično stabilan pri sobnoj temperaturi. Kadmij nema nikakve esencijalne biološke funkcije. Vrlo je toksičan i njegova koncentracija u vodama koje se koriste za piće, ne smije biti veća od 0.005 mg/l (Huber i Baumung, 1982). Kadmij je vrlo snažan karcinogen za sisavce i čovjeka. Štetan je i za planarije, kod kojih izaziva pojavu tumora - malignog retikuloma (Hall i sur., 1986a). Uzrokuje različite kromosomske aberacije u ljudi (Hall i sur., 1986b).

MATERIJAL I METODE

Jedinke vrste *Polytelis felina* Dalyell, 1814 su prikupljene na rijeci Lištici u Širokom Brijegu, neposredno u blizini izvora. Vrste roda *Crenobia* Kenk, 1930 prikupljene su na izvoru Jasle, Masna Luka, Blidinje. Planarije su prikupljene u relativno plitkoj vodi (0.1 - 0.5 m dubine). Podižući kamenje kistom su pojedinačno skidane s površine kamenja i odlagane u staklene posudice ispunjene riječnom vodom. Posudice sa životinjskim materijalom stavljene su u prenosni hladnjak i obložene rashladnim patronima. Na taj način transportirane su u laboratorij gdje su održavane u hladnjaku na +4 °C. Svakodnevno im je mijenjana voda.

Za pripremanje otopina kadmija korišten je kadmijev sulfat 8/3 hidrat - CdSO₄ x 8/3H₂O (Sigma-Aldrich, SAD), a za pripremanje otopina mangana korišten je manganov(II)klorid tetrahidrat - MnCl₂ x 4H₂O (Sigma-Aldrich, SAD). Životinjski materijal fiksiran je Steinmannovom otopinom (150 mL 65 % dušične kiseline, 150 mL zasićene otopine živinog(II)klorida u 5 % otopini natrijevog klorida i 150 mL destilirane vode) te pohranjen u 70 % alkohol za daljnja histološka istraživanja.

Matična otopina kadmijevog sulfata 8/3 hidrata množinske koncentracije 390 µM pripravljena je otapanjem 0,02 g navedene soli u 200 mL destilirane vode. Matična otopina manganova(II)klorida tetrahidrata množinske koncentracije 10 mM pripravljena je otapanjem 0,3958 g navedene soli u 200 mL destilirane vode. Ostale otopine različitih koncentracija pripravljene su razrjeđivanjem matičnih otopina.

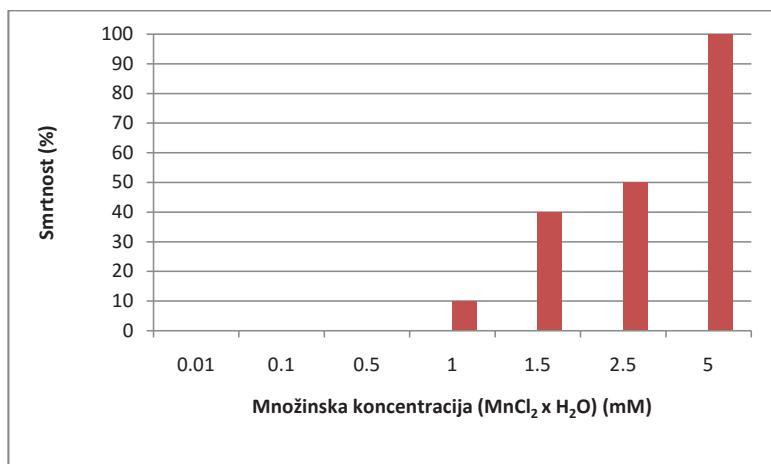
Jedinke vrste *P. felina* su 24h tretirane otopinama teških metala različitih koncentracija. U Petrijeve posude u 20 mL otopine određene koncentracije stavljeno je po deset jedinki vrste *P. felina*. Nakon 24h jedinke su stavljene na oporavak. Svaki dan im je mijenjana voda. Kroz narednih 15 dana bilježena je smrtnost jedinki a pomoću lupe promatrane su morfološke i lokomotorne promjene. Jedinke su fotografirane digitalnim aparatom.

Također su izabrane dvije otopine različitih koncentracija kadmijevog sulfata 8/3 hidrata (7,8 µM i 12 µM) i dvije otopine različitih koncentracija manganova(II)klorida tetrahidrata (1 mM i 1,5 mM). U svaku od navedenih otopina stavljeno je po 5 jedinki vrste *P. felina* i 5 jedinki vrste *Crenobia* sp. Za razliku od gore navedenog postupka gdje su jedinke vrste *P. felina* tretirane 24h otopinom teškog metala te nakon toga stavljene na oporavak u vodu koja predstavlja njihovo prirodno okruženje, u ovom postupku jedinke oba roda držane su u otopinama teških metala kroz 4 dana i nisu stavljene na oporavak. Promatrana je smrtnost jedinki, bilježene su morfološke i lokomotorne promjene, te je uspoređivana otpornost jedinki roda *Polytelis* i roda *Crenobia* na djelovanje kadmija i mangana.

REZULTATI

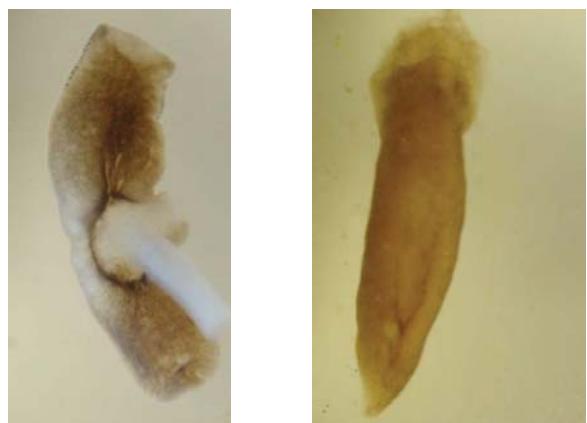
Učinak mangana nakon tretmana na jedinke vrste *Polycelis felina*

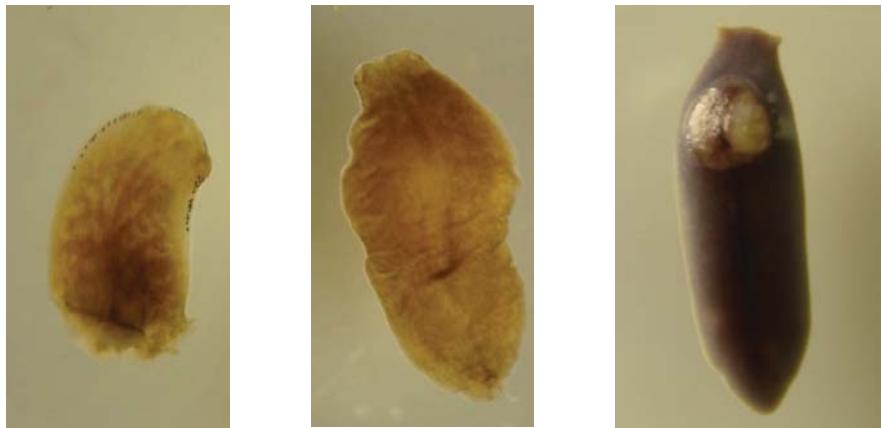
Pripremljeno je više otopina manganova(II)klorida tetrahidrata koncentracija manjih od 1 mM. Te otopine nisu pokazale smrtnost kod tretiranih jedinki. Nakon tretmana utvrđena je smrtnost od 10 % u skupini jedinki vrste *P. felina* tretiranih otopinom koncentracije 1 mM. Smrtnost od 40 % utvrđena je kod jedinki tretiranih otopinom koncentracije 1,5 mM. Smrtnost od 50 % bila je kod jedinki tretiranih otopinom koncentracije 2,5 mM. Kod 5 mM otopine $MnCl_2 \times 4H_2O$ sve su jedinke uginule nakon tretmana, čime je utvrđena 100 % smrtnost. Grafički prikaz smrtnosti jedinki nakon tretmana manganom prikazan je na slici 1.



Slika 1. Smrtnost jedinki (%) vrste *P. felina* 24h nakon tretmana manganom

Kod otopina u rasponu koncentracija od 1,5 mM do 5 mM otopine uočene su slijedeće promjene: izbačeno ždrijelo, valoviti rubovi tijela, smanjena pokretljivost, raspadanje tijela jedinki (slika 2).

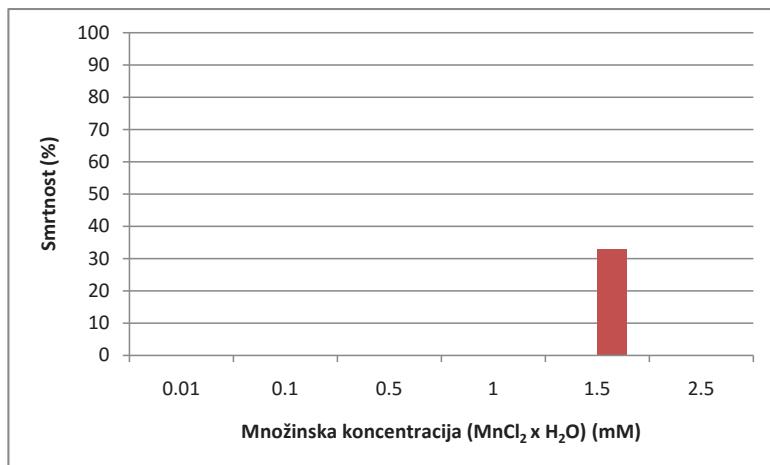




Slika 2. Prikaz morfoloških promjena na jedinkama vrste *P. felina* tretiranih teškim metalima.

Učinak mangana nakon oporavka na jedinke vrste *P. felina*

Za vrijeme oporavka kod otopina $MnCl_2 \times 4H_2O$ koncentracija manjih od 1 mM nije bilo smrtnosti. Kod jedinki tretiranih 1 mM otopinom $MnCl_2 \times 4H_2O$ također nije utvrđena smrtnost za vrijeme oporavka kroz 15 dana promatranja (smrtnost nakon tretmana iznosila je 10 %). Kod jedinki tretiranih otopinom koncentracije 1,5 mM utvrđena je smrtnost od 33 % za vrijeme oporavka (smrtnost jedinki nakon tretmana iznosila je 40 %). Kod jedinki tretiranih otopinom $MnCl_2 \times 4H_2O$ koncentracije 2,5 mM nije utvrđena smrtnost za vrijeme oporavka (smrtnost nakon tretmana iznosila je 50 %). Grafički prikaz smrtnosti jedinki nakon oporavka vrste *P. felina* prikazan je na slici 3.

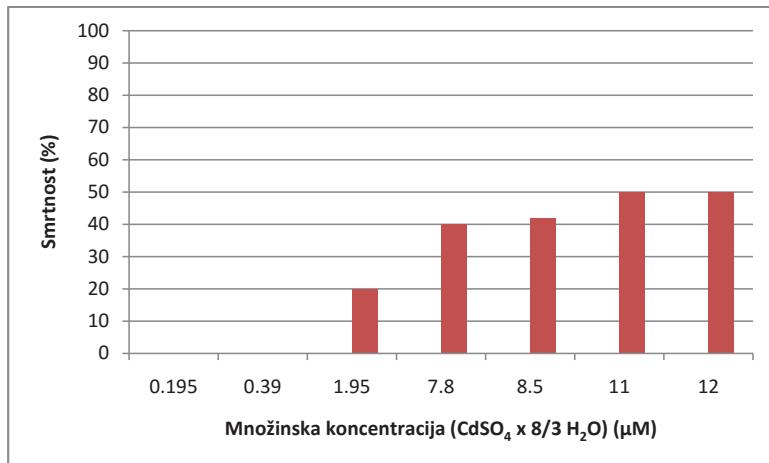


Slika 3. Smrtnost jedinki (%) vrste *P. felina* nakon oporavka

Učinak kadmija nakon tretmana na jedinke vrste *P. felina*

Nakon tretmana jedinki vrste *P. felina* u otopinama koncentracija 0,195 μM i 0,39 μM nije bilo smrtnosti. Smrtnost od 20 % utvrđena je kod jedinki tretiranih otopinom koncentracije 1,95 μM . Smrtnost od 40 % utvrđena je kod jedinki tretiranih otopinom koncentracije 7,8 μM . Smrtnost od 42 % utvrđena je kod jedinki tretiranih otopinom koncentracije 8,5 μM . Kod jedinki tretiranih otopinama koncentracija 11 μM i 12 μM utvrđena je smrtnost od 50 %. Grafički prikaz smrtnosti jedinki nakon tretmana kadmijem prikazan je na slici 4.

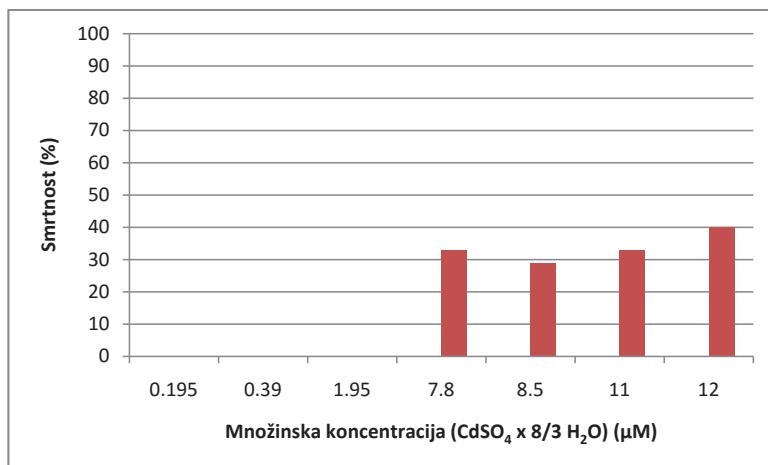
Zabilježene su slijedeće morfološke promjene: izbačeno ždrijelo, deformacije glave i repa, smanjena pokretljivost, raspadanje tijela jedinki, skupljenost, grčenje.



Slika 4. Smrtnost jedinki (%) vrste *P. felina* 24h nakon tretmana kadmijem

Učinak kadmija nakon oporavka na jedinke vrste *P. felina*

Za vrijeme oporavka kod otopina kadmijevog sulfata 8/3 hidrata koncentracija $c \leq 1,95 \mu\text{M}$ nije bilo smrtnosti. Kod jedinki tretiranih 7,8 μM otopinom kadmija utvrđena je smrtnost od 33 % (smrtnost nakon tretmana iznosila je 40 %). Kod jedinki tretiranih otopinom koncentracije 8,5 μM utvrđena je smrtnost od 29 % za vrijeme oporavka (smrtnost jedinki nakon tretmana iznosila je 42 %). Kod jedinki tretiranih otopinom koncentracije 11 μM utvrđena je smrtnost od 33 % za vrijeme oporavka (smrtnost nakon tretmana iznosila je 50 %). Kod jedinki tretiranih otopinom koncentracije 12 μM utvrđena je smrtnost od 40 % (smrtnost nakon tretmana iznosila je 50 %). Grafički prikaz smrtnosti jedinki vrste *P. felina* prikazan je na slici 5.



Slika 5. Smrtnost jedinki (%) vrste *P. felina* nakon oporavka

Učinak mangana i kadmija na jedinke vrste *P. felina* i *Crenobia* sp. kroz četiri dana

Jedinke roda *Polycelis* i roda *Crenobia* tretirane otopinom manganova(II)klorida tetrahidrata koncentracije 1 mM kroz četiri dana nisu pokazale smrtnost. Jedinkama je uvelike smanjena pokretljivost i bile su maksimalno skupljene.

U 1,5 mM otopini kod jedinki vrste *P. felina* zabilježena je smrtnost od 20 % nakon prvog dana, 30 % drugog dana. Treći i četvrti dan nije uginula više nijedna jedinka. Kod jedinki vrste *Crenobia* sp. nakon prvog dana tretmana nije bilo smrtnosti, drugi dan smrtnost je iznosila 20 %, a treći i četvrti dan nije uginula više nijedna jedinka. Jedinkama je bila smanjena pokretljivost, bile su maksimalno skupljene i u početku raspadanja u području glave.

Jedinke roda *Polycelis* i *Crenobia* kroz četiri dana tretirane su 7,8 μM otopinom kadmijevog sulfata 8/3 hidrata. Jedinke vrste *P. felina* nakon prvog dana pokazale su smrtnost od 29 %; drugog dana smrtnost je iznosila 43 %; trećeg dana 71 %, a četvrtog dana 86 %, odnosno samo je jedna jedinka preživjela. Jedinke vrste *Crenobia* sp. nakon prvog dana tretmana pokazale su smrtnost od 20 %; drugog dana 40 %, a trećeg dana 60 %. Četvrtog dana nije uginula nijedna jedinka. Kod jedinki je uočena slaba pokretljivost, prisutni su bili samo trzaji, tijelo im je bilo maksimalno skupljeno.

Jedinke oba roda tretirane kroz četiri dana 12 μM otopinom kadmijevog sulfata 8/3 hidrata pokazale su sljedeću smrtnost: jedinke vrste *P. felina* nakon prvog dana pokazale su smrtnost od 60 %; drugog dana smrtnost je iznosila 80 %; trećeg dana 100 %, odnosno trećeg dana nije bilo živih jedinki. Jedinke vrste *Crenobia* sp. nakon prvog dana tretmana pokazale su smrtnost od 20 %; drugog dana nije bilo smrtnosti, a trećeg dana 40 %. Četvrtog dana nije uginula nijedna jedinka. Jedinke su bile maksimalno skupljene, s vidljivim morfološkim promjenama, nepokretnе i nisu reagirale na dodir.

RASPRAVA

Rezultati istraživanja učinka teških metala, mangana i kadmija provedeni na beskralješnjacima vrste *P. felina* pokazali su toksičnost koja se ogleda u izazivanju smrtnosti određenog broja tretiranih jedinki. Metodom pokušaja otkrivene su koncentracije u rasponu od onih koje nisu izazivale smrtnost do onih u kojima su uginule sve jedinke.

Veći učinak toksičnosti pokazao je kadmij. Koncentracije kadmija izražene su u μM , a koncentracije mangana u mM. Vrlo male koncentracije kadmija (reda veličine 10^{-6}) izazivaju veliki postotak smrtnosti kod jedinki vrste *P. felina* nakon tretmana ali i za vrijeme oporavka. Male koncentracije mangana (reda veličine 10^{-3}) izazivaju smrtnost kod jedinki vrste *P. felina* nakon tretmana i za vrijeme oporavka. Iako se u slučaju mangana radi o većim koncentracijama u odnosu na kadmij iz reda veličine vidimo da su i to jako male koncentracije.

Učinak mangana nakon tretmana i nakon oporavka na jedinke vrste *P. felina*

Nakon tretmana 1 mM otopinom manganova(II)klorida tetrahidrata jedinki vrste *P. felina* utvrđena je smrtnost od 10 %. Za vrijeme i nakon oporavka smrtnosti nije bilo. Sve koncentracije manje od 1 mM nisu izazivale smrtnost ni nakon tretmana ni za vrijeme oporavka. Kopjar (1997) je utvrdila smrtnost od 10 % u skupini jedinki *P. felina* tretiranih 1 mM otopinom $\text{MnCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$, 3 % u skupini jedinki tretiranih 100 μM otopinom, dok kod jedinki tretiranih 10 μM otopinom smrtnosti nije bilo. Nakon oporavka nije bilo smrtnosti ni u jednoj skupini životinja tretiranih navedenim otopinama mangana.

Otopine većih koncentracija 1,5 mM, 2,5 mM i 5 mM izazvale su smrtnost od 40, 50 i 100 % nakon tretmana. Za vrijeme oporavka smrtnost od 33 % javila se kod jedinki tretiranih otopinom koncentracije 1,5 mM.

Nakon tretmana jedinki vrste *P. felina* otopinama kadmijeva sulfata 8/3 hidrata koncentracija 0,195 μM i 0,39 μM nije utvrđena smrtnost. Otopine koncentracija 1,95 μM , 7,8 μM i 8,5 μM izazvale su smrtnost od 20, 40 i 42 % nakon tretmana. Kod otopina koncentracija 11 μM i 12 μM nakon tretmana utvrđena je smrtnost od 50 %.

Kopjar (1997) je utvrdila smrtnost od 38 % u skupini životinja tretiranih otopinom koncentracije 100 μM , smrtnost od 10 % u skupini jedinki tretiranih otopinom koncentracije 10 μM , 2 % u skupini jedinki tretiranih otopinom koncentracije 1 μM .

Calevro i suradnici (1998) su istražili da je letalna koncentracija Cd^{2+} za planarije (*Dugesia etrusca*) u rasponu od 2,5 do 18 mg/L. Zhang i suradnici (2010) utvrdili su nižu osjetljivost planarije *Dugesia japonica* za razliku od *D. etrusca*. Razlog tome može biti što se radi o različitim vrstama planarija. Također, tvrdoća, alkalnost i pH sredine mogu uvelike utjecati na stupanj toksičnosti određenog metala.

Kod vrsta tretiranih kadmijem uočena je smanjena pokretljivost, deformacije, grčenje, skupljanje jedinki, raspad u području glave. Iste rezultate zabilježili su Zhang i suradnici (2010) kod vrste *D. japonica* kod koje je nakon tretmana kadmijem uočeno savijanje, uvtanje glave, grčenje, kontrakcije cijelog tijela, slaba pokretljivost ili potpuno mirovanje. Također pri nižim koncentracijama kadmija *D. japonica* izlučuje nenormalnu količinu sluzi. Ta sluz predstavlja obrambeni mehanizam ali izlučena u prekomernoj količini otežava izmjenu plinova, smanjuje učinkovitost kretanja i ubrzava smrt životinje.

Za vrijeme oporavka kod jedinki tretiranih koncentracijama otopine $\text{CdSO}_4 \times 8/3\text{H}_2\text{O}$ 0,195 μM , 0,39 μM i 1,95 μM smrtnosti nije bilo. Kod 7,8 μM i 11 μM otopine za vrijeme oporavka utvrđena je smrtnost od 33 %. Kod 8,5 μM otopine smrtnost je iznosila 29 %, a kod 12 μM otopine 40 %.

Kopjar (1997) 24h nakon oporavka utvrdila je smrtnost od 13 % u skupini životinja tretiranih $100 \mu\text{M}$ otopinom $\text{CdSO}_4 \times 8/3\text{H}_2\text{O}$, 4 % u skupini jedinki tretiranih s $10 \mu\text{M}$ otopinom. Jedinke tretirane $1 \mu\text{M}$ otopinom $\text{CdSO}_4 \times 8/3\text{H}_2\text{O}$ preživjele su oporavak što potvrđuju i rezultati dobiveni ovim istraživanjem.

Učinak mangana i kadmija nakon četverodnevног tretmana na jedinke vrste *P. felina* i vrste *Crenobia sp.*

Kod vrsta roda *Polycelis* i roda *Crenobia* tretiranih četiri dana otopinom $\text{MnCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$ koncentracije 1 mM nije zabilježena smrtnost. Otopina koncentracije 1,5 mM pokazala je prvo g dana smrtnost od 20 % za rod *Polycelis* dok za rod *Crenobia* smrtnosti nije bilo. Drugog dana smrtnost je porasla na 40 % za rod *Polycelis*, a smrtnost od 20 % pojavila se i kod roda *Crenobia*. Trećeg i četvrtog dana nije bilo porasta smrtnosti. Iz navedenih rezultata vidljivo je da se u ovoj koncentraciji rod *Crenobia* pokazao otporniji na štetno djelovanje mangana.

Za razliku od jedinki vrste *P. felina*, tretiranih 24h otopinom $\text{MnCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$ koncentracije 1 mM (smrtnost je iznosila 10 %) i nakon tretmana stavljenih na oporavak gdje nije bilo smrtnosti i nisu pokazivale vidljive morfološke i lokomotorne promjene 15 dana nakon oporavka, jedinke tretirane istom otopinom 96h bile su slabo pokretne i skupljene.

Smrtnost jedinki tretiranih 24h otopinom koncentracije $c(\text{MnCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}) = 1,5 \text{ mM}$ iznosila je 40 %, a za vrijeme oporavka 33 %. Smrtnost jedinki tretiranih otopinom iste koncentracije kroz četiri dana, nakon prvog dana iznosila je 20 %, a drugog dana 40 % i na toj vrijednosti zadržala se i trećeg i četvrtog dana.

Otopina $\text{CdSO}_4 \times 8/3\text{H}_2\text{O}$ koncentracije $7,8 \mu\text{M}$ nakon prvog dana pokazala je smrtnost od 29 % za rod *Polycelis*, te 20 % za rod *Crenobia*. Drugi dan tretmana smrtnost je porasla na 40 % za rod *Polycelis*, i 42 % za rod *Crenobia*. Treći dan tretmana smrtnost je porasla na 71 % za rod *Polycelis*, a 60 % za rod *Crenobia*. Četvrti dan tretmana smrtnost je porasla na 86 % za rod *Polycelis*, a za rod *Crenobia* nije bilo porasta smrtnosti. Jedinke vrste *Crenobia* sp. pokazale su znatno veću otpornost na štetno djelovanje kadmija za razliku od jedinki vrste *P. felina*.

Jedinke vrste *P. felina* tretirane 24h otopinom koncentracije $c(\text{CdSO}_4 \times 8/3\text{H}_2\text{O}) = 7,8 \mu\text{M}$ pokazale su smrtnost od 40 %, a za vrijeme oporavka 33 %. Kod jedinki su zabilježene slijedeće morfološke promjene: valoviti rubovi tijela, skupljanje tijela, grčenje, slaba pokretljivost, raspadanje tijela. Smrtnost od 40 % postignuta je drugog dana četverodnevног tretmana jedinki koje nisu stavljeni na oporavak i kod njih su također uočene jednake morfološke promjene.

Otopina $\text{CdSO}_4 \times 8/3\text{H}_2\text{O}$ koncentracije $12 \mu\text{M}$ nakon prvog dana pokazala je smrtnost od 60 % za rod *Polycelis*, te 20 % za rod *Crenobia*. Drugi dan tretmana smrtnost je porasla na 80 % za rod *Polycelis*, za rod *Crenobia* nije bilo porasta smrtnosti. Treći dan tretmana smrtnost je porasla na 100 % za rod *Polycelis* tj. sve su jedinke uginule, a za rod *Crenobia* smrtnost je porasla na 40 %. Četvrti dan tretmana za rod *Crenobia* nije bilo porasta smrtnosti. I u ovom tretmanu jedinke vrste *Crenobia* sp. pokazale su znatno veću otpornost na štetno djelovanje kadmija za razliku od jedinki vrste *Polycelis felina*.

Jedinke vrste *P. felina* tretirane 24h otopinom $\text{CdSO}_4 \times 8/3\text{H}_2\text{O}$ koncentracije $12 \mu\text{M}$ pokazale su smrtnost od 50 %, a za vrijeme oporavka 40 %. Kod jedinki su uočene morfološke promjene kao što je raspadanje tijela u području glave i repa, deformacije na glavi i repu, grčenje, potpuno mirovanje jedinki. Kod četverodnevног tretmana *P. felina* pokazala je smrtnost od 60 % nakon prvog dana, a trećeg dana nije bila živa nijedna jedinka. Zabilježene su gore nabrojane morfološke promjene već nakon prvog dana.

ZAKLJUČAK

Oba istraživana metala ovisno o koncentraciji otopine izazivaju smrtnost određenog broja tretiranih životinja. U preživjelih jedinki dovode do morfoloških promjena, smanjene lokomotorne aktivnosti ili potpunog mirovanja, grčenja, deformacija i raspadanja jedinki u području glave i repa. Kadmij je uzrokovao visok postotak smrtnosti jedinki tretiranih otopinama iznimno niskih koncentracija kako nakon tretmana tako i za vrijeme oporavka. Mangan je također uzrokovao smrtnost jedinki, ali u znatno većim koncentracijama. Jedinke vrste *Crenobia* sp. pokazale su veću otpornost na djelovanje kako mangana tako i kadmija za razliku od jedinki vrste *P. felina*. Raspon koncentracija mangana koje izazivaju smrtnost kod *P. felina* je od 1 mM (10 % smrtnost nakon tretmana) do 5 mM (100 % smrtnost nakon tretmana). Raspon koncentracija kadmija koje izazivaju smrtnost kod planarija (*P. felina*) je od 1,95 µM (20 % smrtnost nakon tretmana) do 12 µM (50 % smrtnost nakon tretmana dok veće koncentracije uzrokuju 100 % smrtnost).

LITERATURA

- Baguñà, J., Romero, R. (1981): Quantitive analysis of cell types during growth, degrowth and regeneration in the planarians *Dugesia mediterranea* and *Dugesia tigrina*. Hydrobiologia, 84: 181-194.
- Betchaku, T. (1967): Isolation of planarian neoblasts and their behaviour in vitro with some aspects of the mechanism of the formation of regeneration blastema. J. Exp. Zool. 164: 407-434.
- Betchaku, T. (1970): The cellular mechanism of the formation of a regeneration blastema of freshwater planaria *Dugesia dorotocephala*. I. The behavior of cells in tiny body fragment isolated in vitro. J. Exp. Zool. 174: 253-280.
- Buttarelli, FR., Pellicano, C., Pontieri, FE. (2008): Neuropharmacology and behavior in planarians: translations to mammals. Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol. 147:399-408.
- Calevro F., Filippi C., Deri P., Albertosi C., Betistoni R. (1998): Toxic effects of aluminium, chromium and cadmium in intact and regenerating freshwater planarians. Chemosphere. 37: 651-659.
- Coward, S. J., Hirsh, F. M., Taylor, J. H. (1970): Timidine kinase activity during regeneration in the planarian *Dugesia dorotocephala* J. Exp. Zool. 173: 269-278.
- Filipović, I., Lipanović, S. (1995): Opća i anorganska kemija II. Školska knjiga. Zagreb. 1146.
- Hall, F., Morita, M., Best, J.B. (1986a): Neoplastic transformation in the planarian. I. Cocarcinogenesis and histopathology. J. Exp. Zool. 240: 211-227.
- Hall, F., Morita, M., Best, J.B. (1986b): Neoplastic transformation in the planarian. II. Ultrastructure of malignant reticuloma . J. Exp. Zool. 240: 229-244.
- Huber, L., Baumung, H. (1982): Schwermetalle in der Umwelt- gesetzliche Regelungen und ihr Vollzug in der Praxis. In Schwermetalle im Abwasser, Gewässer und Schlamm. R. Oldenbourg Verlag GmbH, Muenchen, pp. 8-27.
- Joardar, M., Sharma, A. (1990): Comparison of clastogenicity of inorganic Mn administered in cationic and anionic forms in vivo. Mutation Res. 240: 159-163.
- Kopjar, N. (1997): Učinak teških metala na diobu stanica u regenerativima vrste *Polyclenis felina*. Magistarski rad. Zagreb. 103.

- Lange, C. S. (1966): Observations on some tumours found in two species of planaria-*Dugesia etrusca* and *D. ilvana*. J. Embriol. Exp. Morph. Vol 15, 2: 125-130.
- Lange , C. S. (1968): Studies on the celular basis of radiation lethality I. The pattern of mortality in the whole-body irradiated planarian (Tricladida, Paludicola). Int. J. Radiat. Biol. Vol.13, 6: 511- 530.
- Newmark, PA., Sánchez Alvarado, A. (2002): Not your father's planarian: a classic model enters the era of functional genomics. Nat Rev Genet. 3: 210-219.
- Zhang, X., Zhao, B., Pang, Q., Yi, H., Xue, M., Zhang, B. (2010): Toxicity and behavioral effects of cadmium in planarian (*Dugesia japonica* Ichikawa et Kawakatsu). FEB- Fresenius Environmental Bulletin. 19: 2895-2900.

TULARI (INSECTA, TRICHOPTERA) KAO INDIKATORI KLIMATSKIH PROMJENA I EKOLOŠKOG STATUSA KRŠKIH VODENIH EKOSUSTAVA

Svetlana Stanić-Koštroman¹, Mladen Kučinić², Nevenko Herceg¹, Davor Čordas³,
Paula Durbešić²

¹Fakultet prirodoslovno-matematičkih i odgojnih znanosti Sveučilišta u Mostaru, Matice hrvatske bb, 88 000 Mostar, Bosna i Hercegovina

²Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Rooseveltov trg 6,
10 000 Zagreb, Hrvatska

³Vlada RS, Trg Republike Srpske 1, 78 000 Banja Luka, Bosna i Hercegovina

SAŽETAK

Sukladno predviđanjima pritisci na vodene ekosustave uslijed promjena klime i antropogenog utjecaja će biti sve izraženiji u stoljećima koja slijede. Posljedične promjene dovesti će do smanjenja kvaliteta uvjeta staništa, a s tim u vezi i do nestanka osjetljivijih vrsta i smanjenja bioraznolikosti. Jedna od skupina vodenih organizama osobito osjetljivih na različite tipove poremećaja u okolišu su tulari. Kukci iz ovog reda su u sklopu ovih istraživanja korišteni kao indikatorski organizmi za procjenu antropogenih pritisaka na tekućice u okolici Mostara te kao pokazatelji klimatskih promjena. Istraživanja su obuhvatila sedam postaja na rijekama: Neretvi, Radobolji, Bunici i Lištici. Metodom lova pomoću UV lampe tijekom godine dana ukupno su uzorkovane 52 vrste i 14.813 jedinki tulara. Analizom kvalitativno-kvantitativnog sastava njihovih zajednica te na temelju biocenoloških indeksa utvrđen je dobar ekološki status za izvorišni dio rijeke Lištice te umjeren stupanj opterećenosti organskim tvarima i prisutnosti antropogenih pritisaka na ostalim postajama. U radu su definirane i vrste tulara Bosne i Hercegovine na koje će klimatske promjene u budućnosti imati izrazito negativan utjecaj. Kako je riječ većinom o endemskim vrstama, raspravlјano je i o mogućnostima njihove zaštite u sklopu ekološke mreže Natura 2000.

KLJUČNE RIJEČI

sliv Neretve; endemi; antropogeni pritisci; Okvirna direktiva o vodama; Natura 2000.

UVOD

Relativno stabilna klima na planeti Zemlji se u posljednjih 11.000 godina, od zadnjeg ledenog doba, naglo mijenja. Globalna prosječna temperatura zraka se tijekom prošlog stoljeća povisila za oko $0,7^{\circ}\text{C}$, a u samoj Europi zadnje desetljeće je bilo najtoplje u povijesti mjerena, s temperaturom u prosjeku za $1,3^{\circ}\text{C}$ višom u odnosu na period prije industrijske revolucije. Većina klimatskih modela ukazuje na dominantan antropogeni doprinos recentnim klimatskim promjenama, kao i na njegov trend nastavka te čak i pojačavanja tijekom ovog stoljeća. Navedene projekcije predviđaju porast globalne temperature za 1°C do 6°C do konca stoljeća, a

smatra se da će Europa biti toplija za 2,5°C do 4°C u odnosu na prosječne vrijednosti u periodu od 1961. do 1990. godine (IPCC, 2007; European Environment Agency, 2012).

Novija istraživanja pokazala su da je živi svijet diljem planete već pod utjecajem klimatskih promjena. Dokazan je utjecaj globalnog zatopljenja na bioraznolikost brojnih skupina organizama, njihovu rasprostranjenost, fenološke i druge značajke, a predviđa se da će posljedice promjene klime biti dominantni stresori u kopnenim i vodenim ekosustavima tijekom stoljeća koja slijede (Blois i sur., 2013; Hershkovitz i sur., 2015). Zbog izoliranosti i fragmentiranosti te očitog antropogenog utjecaja, vode na kopnu se smatraju staništima osobito osjetljivim na klimatske promjene. Ovi ekosustavi će stoga biti izloženi višestrukim pritiscima nastalim uslijed otapanja leda u planinskim područjima, promjena u vodnom režimu, povišenja temperature vode i saliniteta te kontinuiranog opadanja kvalitete voda (Withehead i sur., 2009; Woodward i sur., 2010; European Environment Agency, 2012; Gobiet i sur., 2014). Kako vode na kopnu čine svega 0,8 % površine planete Zemlje, a procjenjuje se da ih nastanjuje oko 10 % svih poznatih vrsta, jasno je da je njihova bioraznolikost izložena velikom riziku na globalnoj razini (Dudgeon i sur., 2007). Osim što će predviđano globalno zatopljenje dovesti do daljnje fragmentacije, pa i nestanka pojedinih vodenih staništa, organizmi koji u njima obitavaju susrest će se i s brojnim drugim izazovima. Povišenje temperature rijeka i jezera uvjetovati će značajne promjene rasprostranjenosti vrsta, osobito hladno-stenotermnih organizama koji će u skladu sa svojim fiziološkim zahtjevima migrirati u sjevernije krajeve te područja na višim nadmorskim visinama. Kako većina ovakvih vrsta ima disjunktan areal te ograničene mogućnosti migracije, brojne od njih neće imati mogućnosti za pronalažak novih staništa te im prijeti izumiranje. Nadalje, biološka invazija vrsta iz toplijih područja, povišena koncentracija hranjivih tvari u vodama uslijed jačeg ispiranja s kopna, povećana primarna produkcija i ostali poremećaji u hranidbenim lancima, pojačana eutrofikacija i smanjena koncentracije kisika u vodama samo su neki od poremećaja s kojim će se susresti ekosustavi voda na kopnu i organizmi kojima su stanište (European Environment Agency, 2012).

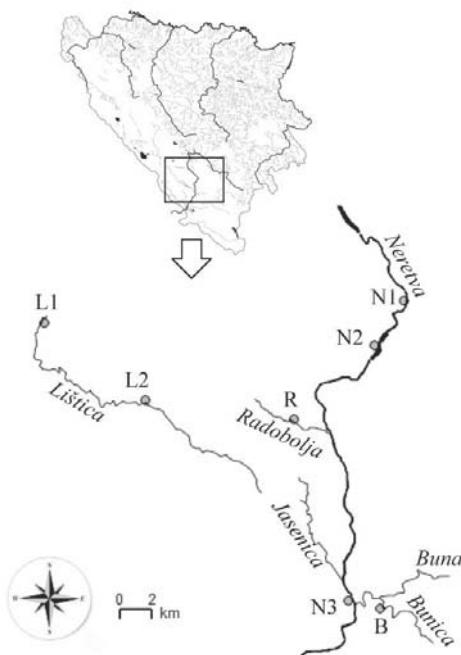
Intenzivni pritisci na vodene ekosustave uslijed klimatskih promjena, odraziti će se i na njihov ekološki status, koji se kontinuirano posljednjih desetljeća pogoršava različitim ljudskim aktivnostima (Withehead, 2009; European Environment Agency, 2012). Ekološki status mjera je „zdravlja“ nekog vodenog ekosustava te predstavlja odraz njegove kvalitete, strukture i funkcije. Termin je inkorporiran u Okvirnu direktivu o vodama – ODV (Directive 2000/60/EU), temeljnog dokumenta u politici zaštite voda, koji obvezuje sve članice EU na postizanje najmanje dobrog ekološkog statusa za sva vodna tijela najkasnije do 2015. godine (Europska Unija, 2000). Procjena ekološkog statusa tekućica temelji se na utvrđivanju bioloških elemenata poput: kvalitativnog i kvantitativnog sastava zajednica vodenih organizama, njihove longitudinalne rasprostranjenosti, trofičke strukture i prisutnosti bioindikatorskih svotih te usporedbe dobivenih vrijednosti sa specifičnim tip-referentnim vrijednostima (Moog, 2002).

Zbog svoje raznolikosti i brojnosti u većini vodenih ekosustava, tulari su jedna od ključnih skupina u procjeni djelovanja različitih stresora u ovim staništima, od organskih onečišćenja, hidromorfološke degradacije do acidifikacije i utjecaja pesticida (Dohet, 2002; Lorenz i sur., 2004). Vodeni kukci iz ovog reda većinu svog životnog ciklusa, kao jajača, ličinke i kukuljice provode u vodi. Kopneni su jedino odrasli stadiji, ali kako se i oni kod većine vrsta najčešće zadržavaju u blizini svojih ishodišnih vodenih staništa te zbog pouzdanje determinacije do razine vrste, u novije vrijeme se sve više koriste u monitoring programima (Waringer & Graf, 2006). U ovom radu prikazano je istraživanje ekološkog statusa krških tekućica u okolici Mostara temeljeno na zajednicama odraslih tulara te procjena predviđanih klimatskih promjena na sastav i strukturu ovih kukaca, kao i mogućnosti zaštite njihove specifične i endemične faune u Bosni i Hercegovini.

MATERIJALI I METODE

Uzorkovanje odraslih tulara provedeno je u središnjem dijelu slivnog područja rijeke Neretve, u okolini Mostara (Slika 1). Za ovo područje karakteristična je izmijenjena mediteransko-jadranska klima, čije su glavne značajke relativno niska vlažnost i oblačnost, duga i topla ljeta te kiše i pojačana zračna strujanja u zimskom dijelu godine. Istraživanje je obuhvatilo sedam postaja na četiri rijeke: Neretvi, Lištici, Radobolji i Bunici. Značajke navedenih postaja prikazane su u Tablici 1.

Za uzorkovanje korištena je metoda lova pomoću UV lampe jačine 18 W i prenosivog olovnog akumulatora od 12 V. Odrasle jedinke tulara prikupljane su noću, dva puta mjesečno u trajanju od dva sata na svakoj od istraživanih postaja tijekom godine dana (od ožujka 2003. do ožujka 2004. godine). Prikupljeni materijal je pohranjen u 80 % etilnom alkoholu, a obrada uzoraka obavljena je u laboratoriju pomoću stereozoom mikroskopa SZX10 (Olympus, Japan). Za determinaciju korišten je standardni ključ Malicky (2004), a vrste su imenovane prema Graf i sur. (2008) te sistematski prikazane prema Malicky (2005). Biocenološki indeksi (indeks trofičkih skupina, longitudinalne distribucije i indeks saprobnosti) izračunati su prema proceduri opisani u Moog, 2002. Podaci za izračun navedenih indeksa i parametara osjetljivosti na klimatske promjene te ostale ekološke značajke dobiveni su iz baze podataka *freshwaterecology.info* (Schmidt-Kloiber & Hering, 2015).



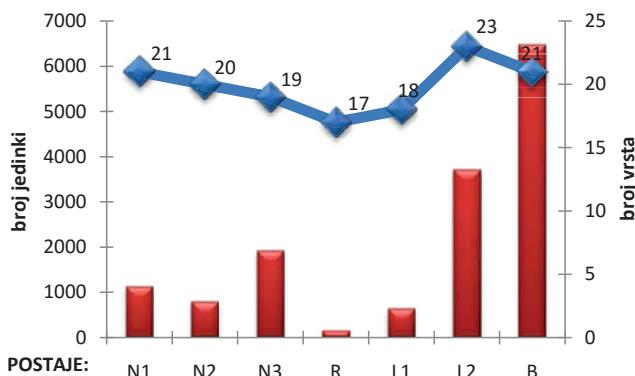
Slika 1. Hidrološka karta Bosne i Hercegovine s označenim područjem istraživanja. Kratice postaja: N – Neretva (N1 – Vojno, N2 – akumulacija Mostar, N3 – Baćevići), R – Radobolja, srednji dio toka, L – Lištica (L1 – izvor, L2 – srednji dio toka u Mostarskom blatu) i B – Bunica, donji tok.

Tablica 1. Značajke istraživanih postaja (Stanić-Koštroman i sur., 2015).

Postaje	N1	N2	N3	R	L1	L2	B
Nadmorska visina (m)	78	77	38	73	297	231	43
Koordinate	43°24'36" 17°52'19"	43°23'02" 17°51'01"	43°14'40" 17°49'51"	43°20'33" 17°47'18"	43°23'43" 17°35'46"	43°21'12" 17°40'33"	43°14'34" 17°51'17"
Udaljenost od izvora (km)	180	189	220	3	0	18	5
Temperatura vode (°C)	9.5-14.4	8.8-22.4	10.1-14.9	11.3-16.4	8.5-10.2	9.2-13.2	10.1-17.3
Otopljeni O ₂ (mg/l)	13.0-14.6	11.2-13.5	10.7-14.6	7.8-14.0	9.70-14.1	5.14-10.8	12.4-14.7
El. vodljivost (µS/cm)	299-303	298-300	308-322	299-409	342-525	356-495	299-397
pH vrijednost	7.48-7.86	7.55-8.30	7.84-7.97	7.87-7.90	7.09-7.74	6.20-8.17	7.50-7.95
Alkalinitet (mgCaCO ₃ /l)	173-205	133-168	135-180	170-185	128-210	153-190	175-260

REZULTATI I RASPRAVA

Tijekom jednogodišnjeg istraživanja vodenih tokova u okolini Mostara ukupno su zabilježene 52 vrste tulara (popis prikazan u radu: Stanić-Koštroman i sur., 2015). Navedena brojka čini 23 % faune ovog reda kukaca zabilježene u BiH, a koja do danas broji 222 vrste i podvrste (Stanić-Koštroman, 2009; Oláh i sur., 2013; Previšić i sur., 2014; Stanić-Koštroman i sur., 2015; Vitecek i sur., 2015, 2015a). Najveći broj vrsta utvrđen je na Lištici u Mostarskom blatu – L2 (23), a najmanji u srednjem dijelu Radobolje – R (17) (Slika 2). Od ukupno 14.813 uzorkovanih jedinki, njih 6.478 (44 %) je prikupljeno na rijeci Bunici - B, a slijede je postaje: Lištica u Mostarskom blatu – L2 (25 %) i Neretva u Baćevićima – N3 (13 %).

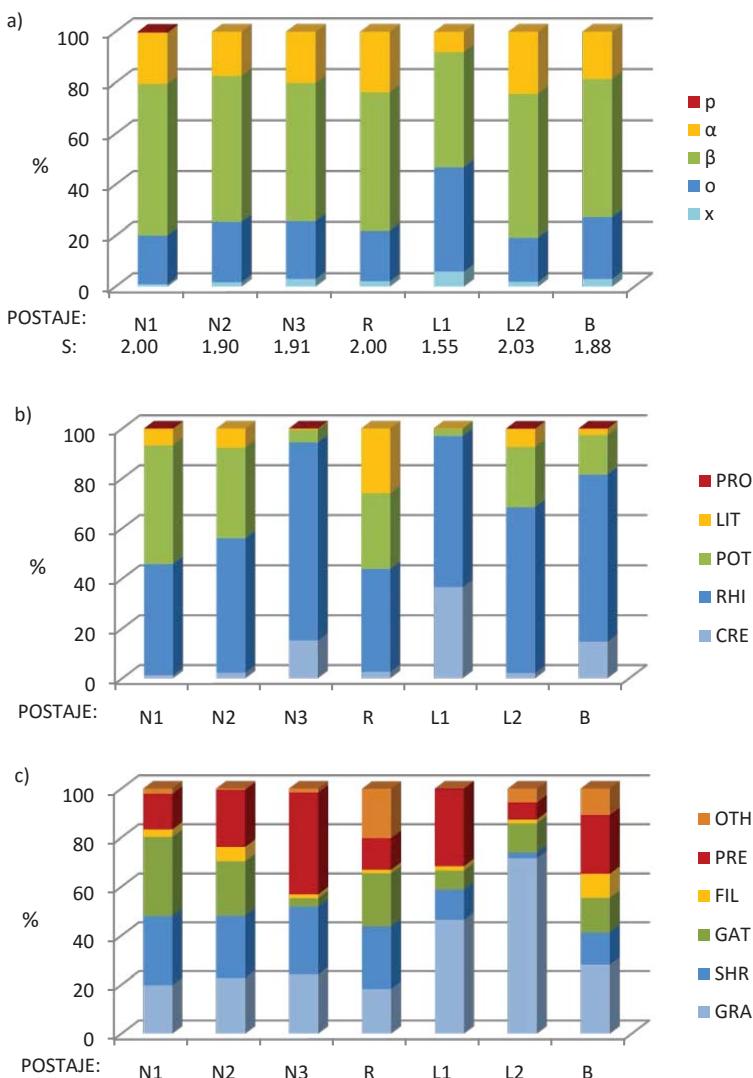


Slika 2. Odnos broja uzorkovanih jedinki (stupčasti prikaz) i broja vrsta (linearni prikaz) na postajama istraživanih tekućica.

Ekološki status istraživanih tekućica

Za procjenu stanja vodenih tokova u okolini Mostara u okviru ovog istraživanja od bioloških elemenata korišteni su biocenološki indeksi, odnosno indeksi saprobnosti, longitudinalne rasprostranjenosti i trofičkih skupina (Slika 3). Prema vrijednostima navedenih indeksa i njihove usporedbi s referentnim uvjetima (neobjavljeni podaci) i predviđanjima Koncepta riječnog kontinuiteta (River Continuum Concept – RCC, Vannote i sur., 1980), zajednice vodenih organizama u izvorišnom dijelu Lištice (L1) su izložene najmanjem antropogenom pritisku. Dobar ekološki status potvrđuju i vrijednosti indeksa saprobnosti na ovoj postaji (Slika 3a) prema kojem voda pripada I-II kategoriji boniteta te vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara (Tablica 1).

Na ostalim postajama primjetan je veći ili manji pritisak izazvan ljudskim djelatnostima. Navedeni pritisci uvjetovali su vrijednosti indeksa saprobnosti od 1,88 na Bunici (B) do 2,03 na Lištici u Mostarskom blatu (L2), a u zajednicama tulara izražena je dominacija beta-mezosaprobnih indikatorskih vrsta (Slika 3a). Sve navedeno vode na ovim postajama kvalificira u II. kategoriju kvaliteta, odnosno voda umjerenog opterećenim organskim tvarima.



Slika 3. Biocenološki indeksi: a) indeks saprobnosti (S): x - ksenosaprobeno, o – oligosaprobeno, β – beta mezosaprobeno, α – alfa mezosaprobeno, p – polisaprobeno; b) indeks longitudinalne rasprostranjenosti: CRE – krenal, RHI – ritral, POT – potamal, LIT – litoral, PRO – profundal; c) indeks trofičkih skupina: GRA – strugači, SHR – usitnjivači, GAT – sabirači, FIL – procjeđivači, PRE – grabežljivci, OTH – druge skupine.

Značajniji pritisci na zajednice tulara većine istraživanih postaja očituju se i u njihovoj longitudinalnoj rasprostranjenosti i trofičkoj strukturi, koja na nekim postajama značajnije odstupa od prirodnih uvjeta (Slika 3b,c). Primjerice, u zajednicama na Neretvi uzvodno od Mostara (N1 i N2) značajan je udio vrsta koje nastanjuju sporo tekuće vode – potamal (48 % i 37 %) te stajačice – litoral (7-8 %), što je posljedica pregradivanja toka rijeke i stvaranja akumulacije Mostar. U skladu s promjenom prirodnih tipova staništa, na ovim postajama formirale su se zajednica tulara koje su se prilagodile na drugačije način ishrane, pa je udio sabirača, odnosno vrsta koje se hrane nataloženim sitnim česticama detritusa (FPOM) veći od očekivanog za srednji dio toka rijeke (35 % i 28 %). Iako se određeni pritisci na zajednice tulara zapažaju i na postajama na rijeci Bunici (B) i Lištici u Mostarskom blatu (L2), najznačajniji antropogeni utjecaj primjetan je na Radobolji (R). Obzirom na položaj postaja bi pripadala epiritalu, međutim dominiraju zajednice koje se razvijaju u vodama sporijeg toka, i to prvenstveno vrste: potamala (30 %), litorala (26 %), pa hiporitala (21 %). Sukladno tome i u trofičkoj strukturi zajednica znatan je udio sabirača – GAT (22 %). Na umjeren ekološki status, kao posljedice položaja postaje u gradskoj zoni te pregradivanja i regulacije toka Radobolje, ukazuje i vrijednost indeksa saprobnosti, ali i kvalitativni i kvantitativni sastav zajednica tulara.

Klimatske promjene i ugroženost vodenih ekosustava u Bosni i Hercegovini

Parametar za procjenu osjetljivosti vrsta na klimatske promjene (Climate Change Vulnerability Score - CCVS) koji je korišten u sklopu ovog istraživanja, temelji se na šest autokoloških značajki, za koje se predviđa da će promjene klime imati značajan učinak: rasprostranjenost, odnosno endemizam, temperaturna valenca, longitudinalna i vertikalna distribucija te značajke životnog ciklusa (Schmidt-Kloiber & Hering, 2015). Hershkovitz i sur. (2015) smatraju se da će stenoendemi, odnosno vrste ograničene na geografski mala područja unutar jednog ekoregiona te hladno stenotermne vrste sa specifičnim fiziološkim zahtjevima biti osobito ugrožene predviđanim promjenama klime. Osjetljivim se smatraju i vrste koje nastanjuju nadmorske visine iznad 800 metara, kao i one u izvorišnim staništima, odnosno krenalnim i epiritalnim dijelovima toka. Povišenje temperature zraka i posljedično smanjenje kvalitete vode dodatno će opteretiti ove ekosustave i vrste koje ih nastanjuju. Općenito se vrste s dužim životnim ciklusom (univoltne i semivoltne) sporije prilagođavaju promjenama u okolišu, od onih koje imaju više generacija godišnje, pa su i osjetljivije na promjene klime.

Prema Hershkovitz i sur. (2015) vodene tokove na područje BiH nastanjuje osam vrsta tulara na koje će klimatske promjene imati izrazito negativan utjecaj (vrste s CCVS ≥ 4). Navedene vrste su: *Drusus bosnicus* Klapálek, 1899, *D. klapaleki* Marinković, 1970, *D. medianus* Marinković, 1976, *D. radovanovici* Marinković, 1970, *D. ramae* Marinković, 1970, *D. septentrionis* Marinković, 1976, *D. vespertinus* Marinković, 1976 i *Rhyacophila intermedia* McLachlan, 1868 (Tablica 2). Kako posljednja vrsta nije zabilježena u dosadašnjim objavljenim podacima za faunu BiH, ista u ovom radu nije uzeta u razmatranje. Nasuprot tome popisu je dodana nova vrsta *Rhyacophila furcifera* Klapálek, 1904 (CCVS=4) koja je utvrđena u ranijim istraživanjima ovog područja (Stanić-Koštroman i sur., 2015). U popis je uvrštena i vrsta nedavno opisana za znanost u izvorišnom području rijeke Cvrcke, *Drusus crenophylax* Graf & Vitecek, 2015 (Vitecek i sur., 2015), za koju je prema dostupnim ekološkim podacima dodijeljena vrijednost CCVS četiri (Tablica 2). Osim vrste *R. furcifera*, koja ima disjunktni areal rasprostranjenosti na Balkanu i području Karpata, ostale vrste tulara u fauni BiH koje su ugrožene klimatskim promjenama su stenoendemi i pripadaju rodu *Drusus* iz grupe *bosnicus*. Riječ je o alopatrijskim vrstama čija se specijacija događala tijekom pleistocena (Previšić i sur, 2009). Njihova rasprostranjenost danas je ograničena na manji broj izvorišnih staništa unutar istog planinskog lanca (Tablica 2, Slika 4). Najuži areal ima *D. ramae*, vrsta koja prema dostupnim podacima nastanjuje samo dva izvora Lištice: Mandića vrilo i Bilo vrilo (Stanić-Koštroman, 2009; Kučinić i sur, 2010). Veoma usku rasprostranjenost ima i *D. crenophylax*, čija se rasprostranjenost procjenjuje isključivo na slivno područje rijeke Cvrcke (Vitecek i sur, 2015). Iako su areali *D. ramae* i *D. crenophylax* znatno udaljeni (Slika 4), za ove dvije vrste zajedničko je i da naseljavaju izvore na nižim nadmorskim visinama u odnosu na ostale vrste iz

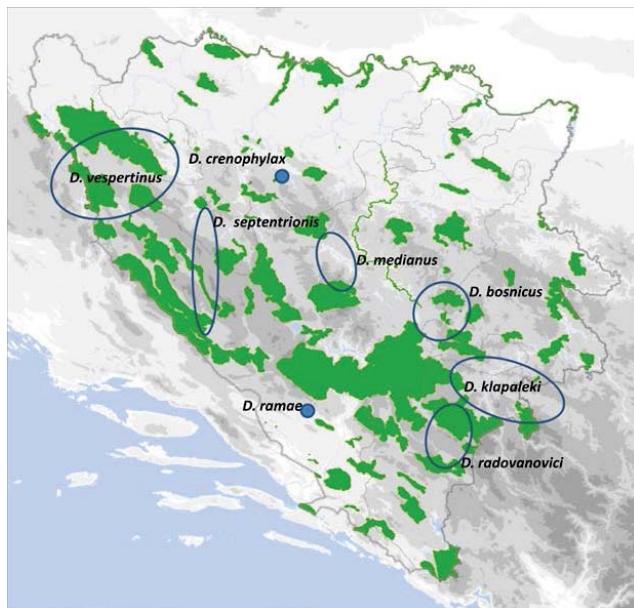
grupe *bosnicus* zabilježenih na području BiH (300 – 450 metara). Ostale vrste ove grupe također pripadaju mikroendemima, premda im je rasprostranjenost nešto šira. Njihovi areali su katkada međusobno jako blizu, ali se ne preklapaju. Tako na primjer, u središnjem dijelu BiH rasprostranjene su dvije vrste: *D. bosnicus*, koja naseljava desne pritoke rijeke Bosne (Marinković-Gospodnetić, 1978), te vrsta *D. medianus* zabilježena u lijevim pritokama ove rijeke, kao i u izvorima Bistre (kod Gornjeg Vakufa) i Kruščice, desnim pritokama Vrbasa (Marinković-Gospodnetić, 1976). Sliv Vrbasa naseljava i vrsta *D. septentrionis*, utvrđena u njegovim lijevim pritokama, te na izvoru Plive, kao i izvorima Sturbe i Bistre kod Livna (Marinković-Gospodnetić, 1976, 1979). Jako su blizu i areali vrsta: *D. klapaleki* i *D. radovanovici* u jugoistočnoj Bosni. Obje vrste naseljavaju pritoke Sutjeske, s tim da *D. radovanovici* obitava u tekućicama na Zelengori i Magliću, dok *D. klapaleki* naseljava nizvodne pritoke ove rijeke, na potezu od Tjentišta do ušća Sutjeske u Drinu (Marinković-Gospodnetić, 1970). Osim na ovom području vrsta *D. klapaleki* je zabilježena i na području sliva rijeke Bosne, u Hrastničkom potoku (Čepić, 1981) te na teritoriji Crne Gore. Vrsta *D. vespertinus* obitava u izvorima sjeverozapadnog dijela Bosne, odnosno tokovima: Ribnika, Sanice i Bastasice (Marinković-Gospodnetić, 1979), a u novije vrijeme zabilježena je i na teritoriju Republike Hrvatske, na izvoru rijeke Une (Kučinić i sur., 2014).

Tablica 2. Popis vrsta tulara u Bosni i Hercegovini veoma osjetljivih na klimatske promjene.
* označava endemske vrste Bosne i Hercegovine (Stanić-Koštroman, S., 2009.; Kučinić i sur., 2008, 2010, 2014, 2015.; Schmidt-Kloiber & Hering, 2015; Vitecek i sur., 2015.)

Vrsta	CCVS	Rasprostranjenost (regija prema Robert B.)	Longitudinalna distribucija	Temperaturna valenca
* <i>Drusus bosnicus</i>	4	Mikroendem (16): izvori Bosne, Paljanske i Mokranjske Miljacke	renal, epirital	hladno stenotermna vrsta
* <i>Drusus crenophylax</i>	4	Mikroendem (16): izvor Cvrcke	renal	hladno stenotermna vrsta
<i>Drusus klapaleki</i>	4	Mikroendem (15, 16): protoke Sutjeske na Tjentištu i pritoke donjeg toka, sliv Bosne	renal	hladno stenotermna vrsta
		Mikroendem (16): izvori Plave vode, Kruščice, Zujevne, Požarne, Lašve, Bistre		hladno
* <i>Drusus medianus</i>	5	renal, epirital	stenotermna vrsta	
* <i>Drusus radovanovici</i>	4	Mikroendem (16): pritoke Sutjeske na Zelengori i Magliću	renal	stenotermna vrsta
* <i>Drusus ramae</i>	4	Mikroendem (16): izvori Lištice	renal	stenotermna vrsta
* <i>Drusus septentrionis</i>	5	Mikroendem (16): izvori Bistre, Sturbe i Plive	renal	stenotermna vrsta
<i>Drusus vespertinus</i>	4	Mikroendem (16, 17a): izvori Ribnika, Sanice, Bastašnice, Une		stenotermna vrsta
<i>Rhyacophila furcifera</i>	4	Balkansko-karpatska vrsta: (15a, 16, 20a, 20b)	renal, epirital	hladno

Osim klimatskim promjenama, endemična fauna voda na kopnu je dodatno ugrožena sve izraženijim antropogenim pritiscima. Naročito izraženi problem u Bosni i Hercegovini je degradacija vodenih staništa uslijed izgradnje hidroelektrana. Vrsta *D. ramae* je klasični primjer

negativnog utjecaja pregrađivanja vodenih tokova i uništavanja staništa te posljedičnog nestanka vrste. Naime, osim izvora Lištice navedena vrsta obitavala je i u izvorima rijeke Rame (Buk i Krupić) s kojih je i opisana za znanost. Nakon izgradnje brane za HE Rama, izvori i gornji dio toka rijeke Rame su 1968. godine potopljeni formiranjem akumulacije. U značajnoj mjeri izmijenjeni uvjeti staništa (izvori na dnu akumulacije su 80 metara pod vodom) doveli su do nestanka *D. ramae* te su dva izvora Lištice jedina za sada poznata staništa ove vrste. Sličan scenarij moguć je i za *D. crenophylax*, obzirom da je u tijeku izgradnja mini-hidroelektrane na rijeci Cvrcki (Vitecek i sur., 2015).



Slika 4. Prikaz područja predloženih za NATURA 2000 u Bosni i Hercegovini s označenim arealima rasprostranjenosti endemičnih vrsta tulara iz roda *Drusus*.

ZAKLJUČAK

Klimatske promjene i drugi antropogeno inducirani pritisci prijetnja su iznimno bogatoj endemskoj fauni vodotoka u Bosni i Hercegovini, koji mogu rezultirati nestankom poznatih vrsta, ali i onih koje za znanost nikada neće niti biti opisane, ukoliko se ne provedu adekvatne mjere zaštite. Srž europskog zakonodavstva u zaštiti prirode i biološke raznolikosti je Direktiva o zaštiti prirodnih staništa i divlje faune i flore (Council Directive 92/43/EEC) koja definira način odabira i zaštite ugroženih staništa i vrsta koje ih nastanjuju. Njena provedba se odvija zajedno s Direktivom o zaštiti ptica (Council Directive 79/409/EEC; 2009/147/EC) kroz uspostavljanje ekološke mreže Natura 2000. Svaka zemlja članica EU pridonosi ovoj mreži izdvajanjem najvažnijih područja za svaku pojedinu vrstu i stanišni tip naveden u odgovarajućim dodacima direktiva. Međutim, sve su glasnija mišljenja kojima se zamjera subjektivizam u definiranju kriterija za odabir vrsta koje su obuhvaćene direktivama, bez objektivne procjene njihove ugroženosti, osjetljivosti, rijetkosti i endemizma (Cardoso, 2012). Primjerice, iako su vode na kopnu staništa za oko 10 % svih poznatih vrsta, među kojima više od 12.000 vrsta riba i 75.000 vrsta kukaca, ona su daleko manje zastupljena u dosadašnjim definiranim zaštićenim područjima unutar Natura 2000 mreže (Hershkovitz i sur., 2015). Prema

Smjernicama EU o klimatskim promjenama i Natura 2000 (EU Guidelines on climate change and Natura 2000, 2013) zaštita vodenih organizama koji će biti pogodeni promjenama klime, može se ostvariti definiranjem novih ili pomicanjem granica ranije definiranih zaštićenih područja sukladno novijim znanstvenim činjenicama te formiranjem koridora koji će omogućiti migraciju vrsta u njima prikladnija staništa.

Uspostava ekološke mreže dio je obveza Bosne i Hercegovine u sklopu procesa pristupanja Europskoj uniji. Projektom „Podrška za provođenje Direktive o pticama i Direktive o staništima u BiH“ (EuropeAid/131488/C/SER/BA) incirano je osnivanje mreže Natura 2000 u Bosni i Hercegovini te je izrađen Nacrt liste Natura 2000 područja za BiH (Slika 4). Granice područja iscrtane su temeljem postojećih znanstvenih podataka i vlastite procjene uključenih eksperata, bez stvarnih znanstvenih i stručnih podloga i terenskih istraživanja.

Predložena područja djelomično obuhvaćaju i staništa pojedinih endemičnih vrsta iz roda *Drusus*, čije su populacije značajno ugrožene predviđanim promjenama klime. Međutim, veći broj staništa ovih vrsta nisu obuhvaćena predloženim Nacrtom, poput izvora Lištice kao jedinog ekosustava u kojem obitava vrsta *D. ramae*. Slično je i s arealima vrsta *D. medianus*, *D. septentrionis* i *D. medianus*, koja uglavnom nisu zahvaćena u sklopu ove ekološke mreže (Slika 4). Kako su područja za Naturu 2000 u BiH još uvijek u fazi Nacrta, konačnom usvajanju njihovih granica trebala bi prethoditi nova istraživanja, koja će biti podloga za iscrtavanje realnih granica definiranih područja. Također, navedena istraživanja trebaju biti usmjerena i na sve ugrožene i endemske svojte ovog područja, u svrhu zaštite njihovih *locus typicus-a*, te obuhvatiti i one vrste kojima prijeti realna opasnost od izumiranja uslijed predviđenih klimatskih promjena, koje iako nisu navedene u dodacima Direktiva, trebaju biti dodane kao značajne vrste na ovome popisu.

LITERATURA

- Blois, J. L., Zarnetske, P. L., Fitzpatrick, M. C. & Finnegan, S. (2013), Climate change and the past, present, and future of biotic interaction. *Science* 341, 499-504.
- Cardoso, P. (2012), Habitats Directive species lists: urgent need of revision. *Insect Conserv. Divers.* 5(2), 169-174. doi: 10.1111/j.1752-4598.2011.00140.x
- Čepić, V. (1981), Neki atributi dinamike populacije *Drusus klapaleki* Marinković-Gospodnetić, 1970 u planinskom potoku. *God. Biol. Instit. u Sarajevu*. 34, 21-38
- Dohet, A. (2002), Are caddisflies an ideal group for the biological assessment of water quality in streams? Procc. oft he 10th Int. Symp. on Trich. 15, 507-520.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z., Knowler, D. J., Leveque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A., Soto, d., Stiassny, M. L. J. & Sullivan, C. A. (2007), freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biol. Rev.* 81(2), 163-182. doi: 10.1017/S1464793105006950
- European Environment Agency (2012), Climate change impacts and vulnerability in Europe. Copenhagen, Denmark. doi:10.2800/66071
- EU Guidelines on climate change and Natura 2000 (2013), Network of areas of high biodiversity value. Technical Report – 2013-068. doi: 10.2779/29715
- Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J. & Stoffel, M. (2014), 21st century climate change in the European Alps – A Review. *Sci. Total Environ.* 493, 1138-1151.

- Graf, W., Murphy, J., Dahl, J., Zamura-Muñoz, C. & López-Rodríguez, M. J. (2008), Distribution and ecological preferences of european freshwater organisms. Vol. 1. Trichoptera. Pensoft, Sofía-Moscow.
- Hershkovitz, Y., Dahm, V., Lorenz, A.W. & Hering, D., (2015), A multi-trait approach for the identification and protection of European freshwater species that are potentially vulnerable to the impacts of climate change. Ecological Indicators 50, 150-160. doi:10.1016/j.ecolind.2014.10.023
- IPCC (2007), Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R. K. & Reisinger, A. (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland.
- Kučinić, M., Previšić, A., Gottstein, S., Hrašovec, B., Stanić-Koštroman, S., Pernek, M. & Delić, A. (2008), Description of the larvae of *Drusus radovanovici septentrionis* Marinković-Gospodnetić, 1976 and *Drusus croaticus* Marinković-Gospodnetić, 1971 (Trichoptera: Limnephilidae) from Bosnia and Herzegovina, and Croatia. Zootaxa. 1783, 1-17.
- Kučinić, M., Previšić, A., Stanić-Koštroman, S., Franjević, M., Šerić Jelaska, L., Delić, A. & Posilović, H. (2010), Description of the larvae of *Drusus ramae* Marinković-Gospodnetić and *Drusus medianus* Marinković-Gospodnetić (Trichoptera: Limnephilidae) with some genetic, distributional, ecological, faunal and conservation notes. Zootaxa. 2484, 1-24
- Kučinić, M., Previšić, A., Mihoci, I., Ćuk, R., Delić, A., Žganec, K., Cerjanec, D. & Vučković, I. (2014), The first finding of the *Drusus bosnicus* group (Insecta, Trichoptera) in Croatia with some notes on diversity, taxonomy, distribution and ecology of genus *Drusus* in Croatia and in Dinaric karst of the Balkan Peninsula. Nat. Croat. 23(2), 365–377
- Kučinić, M., Previšić, A., Graf, W., Mihoci, I., Šoufek, M., Stanić-Koštroman, S., Lelo, S., Vitecek, S. & Waringer, J., (2015), Larval description of *Drusus bosnicus* Klapálek 1899 (Trichoptera: Limnephilidae), with distributional, molecular and ecological features. Zootaxa. 3957(1), 85-97. doi: 10.11646/zootaxa.3957.1.7
- Lorenz, A., Hering, D., Feld, C. K. & Rolauffs, P. (2004), A new method for assessing the impact of morphological degradation on the benthic invertebrate fauna for streams in Germany. Hydrobiologia. 516, 107-127
- Malicky, H. (2004), Atlas of European Trichoptera, Springer, Dordrecht.
- Malicky, H. (2005), Ein kommentiertes Verzeichnis der Köcher- fliegen (Trichoptera) Europas und des Mediterrangebietes. Linzer Biol. Beitr.
- Marinković-Gospodnetić, M. (1970): Fauna Trichoptera područja Maglica, Volujaka i Zelengore. Glasnik Zem. Muzeja. Sarajevo. 9, 107-120.
- Marinković-Gospodnetić, M. (1976), The differentiation of *Drusus* species of the group *bosnicus*. U: Malicky, H. (ed.), Proceedings of the 1th International Symposium on Trichoptera. Junk. The Hague.
- Marinković-Gospodnetić, M. (1978), Some characteristics of the Yugoslav fauna of Trichoptera. U: Crichton, M.I. (ed.), Proceedings of the 2th International Symposium on Trichoptera. Junk. The Hague.

- Marinković-Gospodnetić, M. (1979), Trichoptera (Insecta) velikih karstnih izvora u Dinariđima. U: Rauš, Đ. (ed.), Drugi kongres Ekologa Jugoslavije. Savez društava ekologa Jugoslavije. Zagreb. Knjiga I, 1837-1849.
- Moog, O. (ed.), (2002), Fauna Aquatica Austriaca, Edition 2002. Wasserwirtschaftskataster Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Oláh, J., Andersen, T., Chvojka, P., Coppa, G., Graf, W., Ibrahimi, H., Lodovici, O., Previšić, A. & Valle, M. (2013), The *Potamophylax nigricornis* group (Trichoptera, Limnephilidae): Resolution of phylogenetic species by fine structure analysis. Opusc. Zool. Budapest, 44(2), 167–200.
- Previšić, A., Walton, C., Kučinić, M., Mitrikeski, P. T. & Kerovac, M. (2009), Pleistocene divergence of dinaric *Drusus* endemics (Trichoptera, Limnephilidae) in multiple microrefugia within the Balkan Peninsula. Molec. Ecology. 18(4), 634-647. doi: 10.1111/j.1365-294X.2008.04046.x
- Previšić, A., Graf, W., Vitecek, S., Kučinić, M., Bálint, M., Keresztes, L., Pauls, S.U. & J. Waringer. (2014), Cryptic diversity of caddisflies in the Balkans: the curious case of *Eccloisopteryx* species (Trichoptera: Limnephilidae). Arthropod Syst. Phylogeny 72, 309-329.
- Schmidt-Kloiber, A. & Hering, D., eds. (2015), www.freshwaterecology.info - the taxa and autecology database for freshwater organisms, version 6.0 (accessed on 07.08.2015).
- Stanić-Koštroman, S. (2009), Faunističke, ekološke i biogeografske značajke tulara (Insecta: Trichoptera) Bosne i Hercegovine. Doktorska disertacija. PMF Sveučilišta u Zagrebu.
- Stanić-Koštroman, S., Previšić, A., Planinić, A., Kučinić, M., Škobić, D., Dedić, A. & Durbešić, P. (2015), Environmental determinants of contrasting caddisfly (Insecta, Trichoptera) biodiversity in the Neretva and Bosna river basins (Bosnia and Herzegovina) under temperate and mediterranean Climates. Int. Rev. Hydrol. 100, 79-95. doi: 10.1002/iroh.201301631
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R. & Cushing, C. E. (1980), The river continuum concept. Can. J. of Fish. Aquat. Sci. 37, 130-137.
- Vitecek, S., Previšić, A., Kučinić, M., Bálint, M., Keresztes, L., Waringer, J., Pauls. S.U., Malicky, H. & Graf, W. (2015), Description of a new species of *Wormaldia* from Sardinia and a new *Drusus* species from the Western Balkans (Trichoptera, Philopotamidae, Limnephilidae). ZooKeys 496, 85–103. doi: 10.3897/zookeys.496.9169
- Vitecek, S., Kučinić, M., Oláh, J., Previšić, A., Bálint, M., Keresztes, L., Waringer, J., Pauls, S.U. & Graf, W. (2015a), Description of two new filtering carnivore *Drusus* species (Limnephilidae, Drusinae) from the Western Balkans. ZooKeys 513, 79–104. doi: 10.3897/zookeys.513.9908
- Waringer, J. & Graf, W. (2006), Light-trapping of Trichoptera at the March, a lowland river in Eastern Austria. Archiv für Hydrobiologie Supplement. 158/3, 351-372.
- Whitehead, P. G., Wilby, R. L., Battarbee, R. W., Kernan, M. & Wade, A., J. (2009), A Review of the potential impacts of climate change on surface water quality. Hydrol. Sci. J. 54, 101-123. doi: 10.1623/hysj.54.1.101

Woodward, G., Perkins, D. M. & Brown, L. E. (2010), Climate change and freshwater ecosystems: impacts across multiple levels of organization. Phil. Trans. R. Soc. B. Biol. Sci. 365, 2093-2106. *doi:10.1098/rstb.2010.0055*

PRIMJENA MULTIVARIJABILNIH LINEARNIH MODELA ZA RASPODJELU POKAZATELJA ONEČIŠĆENJA ZRAKA I OTPADNIH VODA GRADA SPLITA

M. Čurlin¹, N. Periš², M. Bralić³, M. Buljac³

¹Prehrambeno biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

²Nastavni Zavod za javno zdravstvo Splitsko dalmatinske županije, 21000 Split, Hrvatska

³Kemijsko-tehnološki fakultet Sveučilišta u Splitu, Teslina 10, 21000 Split, Hrvatska

SAŽETAK

Analiza pokazatelja onečišćenja zraka i otpadnih voda na širem području grada Splita provedena je na osnovi mjerjenih fizikalno kemijskih pokazatelja. Na osnovi provedene statističke analize pokazatelja onečišćenja u vremenskom razdoblju od 4 godine izrađeni su multivarijabilni linearni model i model lokalne linearne regresije za sadržaj ukupne taložne tvari (UTT) u zraku kao i za kemijsku potrošnju kisika (KPK) kao najznačajniji pokazatelj onečišćenja otpadnih voda. Dobiveni rezultati pokazuju i objašnjavaju utjecaj pojedinih pokazatelja na ukupno onečišćenje zraka i vode te predstavljaju temelj za postavljanje složenijih matematičkih modela koji su od osobite važnosti za odabir tehnologije pročišćavanja te učinkovitije kontrole zaštite ljudi i prirodnih izvora vode posebice krških voda na promatranom području.

KLJUČNE RIJEČI: linearni modeli; pokazatelji onečišćenja; zaštita zraka; zaštita voda

UVOD

Očuvanje i poboljšanje kakvoće voda i zraka na nekom području, izbjegavanje i spriječavanje odnosno smanjenje onečišćenja ostvaruje se kroz instrumente nacionalne politike i planiranja (strategije zaštite, planovi kvaliteta i akcijske planove zaštite voda i zraka i dr.), kao i obaveze definirane kroz zakonske i podzakonske akte. Važan aspekt u očuvanju i poboljšanju kakvoće voda i zraka svakako je praćenje stanja (nadzor, monitoring) koji se provodi određivanjem fizikalno - kemijskih parametara. Na osnovi rezultata nadzora mogu se poduzeti preventivne mјere u segmentima značajnim za zaštitu voda i zraka od onečišćenja u koje spadaju: i) informiranje javnosti i davanje preporuka za akcidentne situacije, ii) praćenje i evaluacija trendova koncentracija onečišćivila, iii) procjena izloženosti populacije i ekosustava, (iv) identifikacija izvora onečišćenja, v) sagledavanje utjecaja poduzetih mјera na stupanj zagаđenja i vi) modeliranje samog procesa zagađenja u smislu disperzije i predviđanja koncentracije onečišćivila.

Onečišćenje atmosfere može nastati iz antropogenih izvora (nepotpuno sagorjevanje fosilnih goriva, industrijske emisije, cestovni prijevoz, obrada otpada, poljoprivredne aktivnosti) i prirodnih izvora (emisije oceana, vulkanske aktivnosti, šumski požari, emisije tla, emisije vegetacije) ili transformacijama prekursora (procesi oksidacije, fotooksidacije, polimerizacije, razgradnje). Onečišćenje vodenih ekosustava posljedica je dotoka komunalnih otpadnih voda nastalih uporabom vode za životne potrebe ljudi u naseljenim mjestima, industrijskih otpadnih

voda koje nastaju kao poslijedica provedbe različitih industrijskih i tehnoloških procesa te pomoćnih separacijskih postupaka u kojima se voda neposredno koristi, oborinskih voda s odgovarajućim udjelom onečišćenja iz atmosfere i zemljишta, te rashladnih voda iz industrijskih postrojenja. Oborinske i rashladne vode ne sadrže značajnu količinu onečistila pa se kao takve mogu izravno ispušтati u recipijente, a komunalne i industrijske otpadne vode prije ispuštanja u prirodne recipijente potrebito je podvrgnuti različitim procesima pročišćavanja.

U odnosu na vodu atmosfera je osjetljivija na antropogene emisije zbog prijenosa onečišćujućih tvari koji se odvija mnogo brže u odnosu na prijenos vodenim medijem. Ponašanje onečišćivila u atmosferi može odrediti i stupanj zagađenja ostalih dijelova ekosustava pa tako i prirodnih voda. Ispiranje oborinama predstavlja glavni mehanizam prijenosa atmosferskog materijala u prirodne vode. Atmosfersko teloženje može biti značajan izvor toksičnih organskih tvari za površinske vode, posebice priobalne, izložene vjetru iz smjera urbanih i industrijskih zona. Usprkos intenzivnom istraživanju kretanje organskih onečišćivila između atmosfere i sastavnica okoliša samo je djelomice razrješeno. Zbog složenosti problema javlja se potreba za što većim brojem kvantitativnih i kvalitativnih podataka te njihove složene matematičke analize, koji će doprinjeti boljem razumjevanju globalnog kretanja onečišćivila u ekosustavima posebice zraku i vodama.

S porastom broja ljudske populacije, povećanim korištenjem prirodnih bogatstava i sve većim tehnološkim razvojem, utjecaj ljudi na atmosferu i vodene ekosustave je stalan i značajan¹. Nadzor stanja mjerenjem fizikalno-kemijskih pokazatelja rezultira velikim bazama podataka iz kojih je moguće utvrditi odstupanja od maksimalno dozvoljenih koncentracija, ali nije moguće dovesti u vezu pojedine pokazatelje onečišćenja te utvrditi njihove međusobne odnose. Primjena metoda matematičkog modeliranja na mjerenjem dobivenim skupovima podataka, fizikalno kemijskih pokazatelja, može poslužiti kao baza za nadzor i optimalno upravljanje onečišćivilima u različitim ekosustavima bilo da se radi o disperziji onečišćivila (zrak, voda) ili kada govorimo o vođenju procesa pročišćavanja otpadnih voda. Kao gruba podjela modela koji se koriste u tu svrhu može se navesti skupina nestrukturiranih modela i skupina empirijskih modela. Nestrukturirani modeli zasnivaju se na uobičajenim bilancama tvari i jednadžbama koje opisuju sve procese koji se odvijaju unutar zadanog sustava. Opis svih procesa i reakcija koje se odvijaju čini ove modele kompleksnim te je i njihova izrada veoma složena jer zahtjeva dobro poznavanje procesa i poznavanje velikog broja parametara koji opisuju te procese. Empirijski modeli znatno su jednostavniji jer ne zahtjevaju detaljno poznavanje procesa budući da se temelje na statističkoj analizi eksperimentalnih podataka koja nam služi za utvrđivanje međusobne zavisnosti pojedinih varijabli. Ta zavisnost se prikazuje funkcijom (jednadžbom) modela, a ovisno o prirodi te funkcije razlikujemo linearne i ne linearne empirijske modelle.

Zadaća ovoga rada je utvrditi primjenjivost linearnih empirijskih modela za opis i predikciju ukupne taložne tvari (UTT) u zraku i kemijske potrošnje kisika (KPK) komunalne otpadne vode na području grada Splita kao najznačajnijih pokazatelja onečišćenja.

Na osnovi valjanih podataka o kvaliteti zraka i kvaliteti otpadne vode, predikcije i procjene efekata/cijene utjecaja na zdravlje stanovništva i životni prostor, mogu se predvidjeti najefikasnije i najisplativije mjere za poboljšanje stanja voda i zraka, a time utjecati i na stanje prirodnih voda posebice u krškom području.

MATERIJALI I METODE

Određivanje fizikalno kemijskih pokazatelja kakvoće zraka i otpadne vode

Svi fizikalno kemijski pokazatelji određeni su uporabom različitih analitičke metoda IR- i UV-spektrometrija, kromatografija, acidimetrija i alkalimetrija, nefelometrija, polarografija, spektrometrijske metode (AAS, ICP-MS, CV-AFS) koje se uobičajeno koriste za mjerjenje kakvoće zraka i vode gradskih i industrijskih područja, odlagališta otpada, prometnica, kamenoloma i dr. Veoma je važno da su te metode brze, jednostavne, dovoljno osjetljive,

pouzdane, specifične i ekonomski isplative kako bi se moglo utjecati na rješavanje nastalih problema u kakvoći zraka i vode te utjecati na rješavanje nastalih problema.

Uzorci ukupne taložne tvari (UTT) prikupljani su u Bergerhoff-ovu sedimentatoru (VDI 2119 Blatt2/1972), koji se postavlja na visinu od 3 m na ispitivanoj mjernoj postaji. Sakupljanje uzoraka UTT se vrši kroz period od 30 dana. Nakon toga, sakupljeni uzorci se analiziraju u laboratoriju. Ako su uzorci suhi dodaje im se 300 mL deionizirane vode i ostave se preko noći. Uzorci se filtriraju kroz membranski filter veličine pora 3 μ m (Millipore SCWPO9025), odredi se pH filtrata i boca napuni deioniziranom vodom do volumena od 500 mL. Od filtrata se uzme alikvotni dio, suši se te se gravimetrijski odredi u vodi topljiva frakcija UTT. Teški metali u UTT se određuju plamenom atomskom apsorpcijskom spektrofotometrijom (FAAS, Hitachi Z-2000). Volumetrijskom metodom se određuju kiseli anioni u UTT osim sulfata koji se određuje gravimetrijski.

Mjerni parametri kakvoće otpadne vode određivani su prema standardnim metodama za ispitivanje kakvoće voda i otpadnih voda³. Za analizu su korištene vrijednosti 7 pokazatelja kakvoće otpadne vode, pH, KPK, sususpendirana tvar, koncentracije N-NO₃⁻, N-NO₂⁻, N-NH₄⁺ i ukupni fosfor.

Izrada baze podataka i matematički model

Za analizu sustava korišten je zapis o svakodnevnim mjerjenjima parametara kakvoće zraka i komunalnih otpadnih voda na području grada Splita u razdoblju od 2006-2009. godine. Na taj način stvorena je baza s ukupno 361 skupova podataka od po 7 varijabli od fizičko-kemijskih pokazatelja kvalitete zraka te baza s 724 skupova podataka od po 7 varijabli za komunalnu otpadnu vodu.

Sve statističke analize provedene su u računalnom sustavu "Statistica" (proizvođač "StatSoft")⁴ verzija 10. Za opis pouzdanosti dobivenih rezultata poslužila je prethodno određena razina signifikantnosti rezultata. Odabrana razina signifikantnosti u svim provedenim statističkim analizama jest $p \leq 0,05$, što se inače smatra prihvatljivom vrijednošću za pouzdanost rezultata. Kao parametar za ocjenjivanje točnosti modela te za njihovu međusobnu usporedbu, korištena je vrijednost regresijskog koeficijenta R^2 , koja ukazuje na postotak varijance eksperimentalnih podataka, objašnjen određenim modelom. Vrijednost regresijskog koeficijenta kreće se u granicama 0-1, a računata je prema izrazima za analizu varijance (ANOVA):

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (1)$$

$$SSE = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2)$$

$$SST = SSE + SSR \quad (3)$$

$$SSR = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (4)$$

Viševarijantni linearni model

Za izradu viševarijantnog linearnog modela primjenjena je metoda viševarijantne linearne regresije ("Multiple Linear Regression", MLR) te je kod pokazatelja za zrak UTT odabrana kao zavisna varijabla, a sadržaj metala i iona kao nezavisne varijable. Iz baze podataka za kakvoću vode KPK je odabrani pokazatelj koji predstavlja zavisnu varijablu, a ostali ispitivani fizikalni kemijski parametri su uzeti kao nezavisne varijable. Ovom metodom analizira se međuzavisnost (koreliranost) pojedinih varijabli, a jačina korelacije varijabli opisuje se regresijskim koeficijentima β normaliziranih modela. Pri izradi, model je prilagođavan eksperimentalno utvrđenim podacima uzastopnim minimiziranjem srednjih kvadratnih odstupanja između modelom određene i eksperimentalno utvrđene vrijednosti odabrane izlazne veličine, metodom

najmanjih kvadrata. Analizom se određuju vrijednosti parametara modela B koji izražavaju udio pojedine nezavisne varijable u modelu, kako je dano općim prikazom modelne jednadžbe:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (5)$$

$$y = B_0 + B_1 \cdot x_1 + B_2 \cdot x_2 + \dots + B_n \cdot x_n \quad \text{gdje je } B_0 \text{ odsječak na osi } y \quad (6)$$

za normalizirani model

$$y = \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_n \cdot x_n \quad (7)$$

Odabранe su promatrane zavisne veličine UTT kod zraka i KPK kod otpadne vode te je analiziran utjecaj preostalih mjerjenih parametara na tu veličinu, analizom signifikantnih regresijskih koeficijenata β .

Model lokalne linearne regresije

Nelinearnost među pokazateljima procijenjena je metodom lokalne linearne regresije ("Piecewise Linear Regression", PLR), a za uzastopnu minimalizaciju odstupanja modela od eksperimentalno utvrđenih vrijednosti primijenjena je približna Newtonova metoda (engl. quasi Newton method).

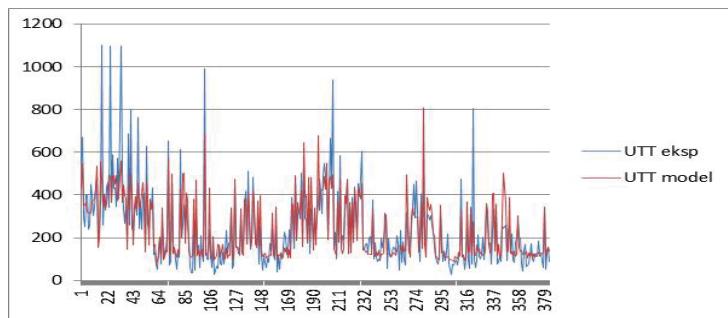
Na taj način određena je vrijednost UTT i KPK koje predstavljaju točku loma (y_0), kao i parametri modela, B , koji ukazuju na jakost i prirodu utjecaja nezavisnih varijabli kako je prikazano općom jednadžbom za model lokalne linearne regresije:

$$\begin{aligned} y &\leq y_o; \quad y_1 = B_{1,0} + B_{1,1} \cdot x_1 + B_{1,2} \cdot x_2 + \dots + B_{1,n} \cdot x_n \\ y &\geq y_o; \quad y_2 = B_{2,0} + B_{2,1} \cdot x_1 + B_{2,2} \cdot x_2 + \dots + B_{2,n} \cdot x_n \end{aligned} \quad (8)$$

REZULTATI I RASPRAVA

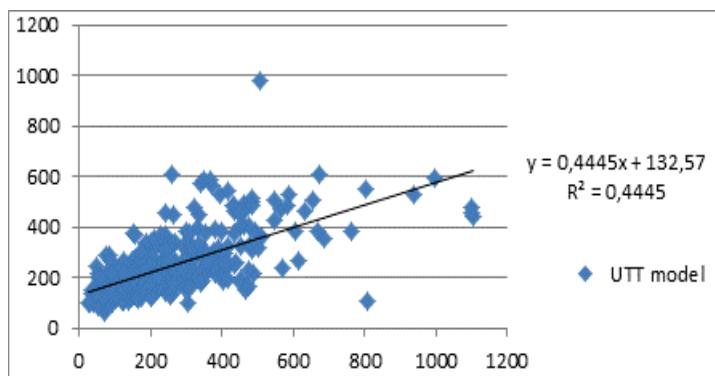
Linearni modeli za predikciju ukupne taložne tvari (UTT) u zraku i KPK otpadne vode izrađeni su pomoću metode viševarijantne linearne regresije (MLR), s razinom signifikantnosti $p \leq 0,05$. Za opis pouzdanosti dobivenih rezultata poslužila je prethodno određena razina signifikantnosti rezultata, p . Razina signifikantnosti može se onda objasniti kao vjerojatnost pogreške ukoliko dobiveni rezultat prihvativimo kao važeći, a pouzdanost rezultata onda je jednaka $1-p$. Odabranu razinu signifikantnosti u svim provedenim statističkim analizama je $p \leq 0,05$, što se inače smatra graničnom vrijednošću za pouzdanost rezultata. To zapravo znači da postoji 5% vjerojatnosti pogreške da je nadjeni odnos između varijabli uistinu takav i u stvarnom sustavu. Kao nezavisne varijable za izradu modela ukupne taložne tvari odabранe su koncentracije metala (Pb, Cd, Tl) i iona Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- na sedam lokacija šireg područja grada Splita, a za model KPK kao nezavisne varijable u model su uključene koncentracije $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$, $N-NO_2^-$, PO_4^{3-} . te pH vrijednost i suspendirana tvar. Prije analize i izrade modela iz ukupne baze podataka (vrijednosti pokazatelja onečišćenja za zrak i vodu) za promatrano razdoblje uklonjeni su nepotpuni podaci te podaci koji su vidljivo odstupali za nekoliko redova veličine, a poslijedica su grubih pogrešaka u mjerjenju. U obzir za daljnju analizu su uzeti samo potpuni skupovi podataka, koji sadrže podatke za sve navedene varijable (pokazatelje) te je time početna baza podataka smanjena i za izradu modela korištena je baza sa $N=379$ za UTT i $N=724$ za otpadnu vodu. Nadalje provedena je osnovna statistička analiza mjerjenih pokazatelja te postavljena korelačijska matrica iz koje je prema vrijednostima aPearsonovih koeficijenata vidljiv linearni odnos među pokazateljima onečišćenja. Daljnjom analizom odnosno izradom modela MLR određeni su regresijski koeficijenti β i B za normalizirani i izvorni oblik modela. S obzirom na dobivene rezultate i postavljenu razinu signifikantnosti možemo uočiti da su značajne varijable za izradu modela UTT ioni Ca^{2+} i Cl^- dok su za model KPK izdvojene kao značajne varijable koncentracije NO_3^- i NH_4^+ . Kao parametar za ocjenjivanje točnosti oba modela modela odabran je regresijski koeficijent R^2 koji ukazuje na postotak varijance eksperimentalnih podataka, objašnjen određenim modelom. Regresijski koeficijent modela za UTT iznosio je R^2

$= 0,4445$ a grafički prikaz slaganja modela za vrijednosti UTT_{model} dobivenih modelom i mjereneh vrijednosti UTT_{eksp} po pojedinom skupu podataka prikazan je na slici 1.



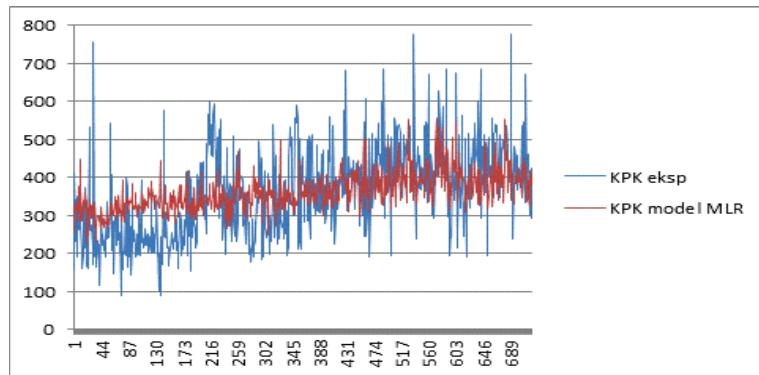
Slika 1. Slaganje MLR modela za UTT s eksperimentalno određenih vrijednostima UTT po pojedinom skupu podataka.

Odnos eksperimentaano dobivenih vrijednosti pokazatelja UTT i vrijednosti dobivenih MLR modelom s pripadajućim regresijskim koeficijentom prikzana je na slici 2.



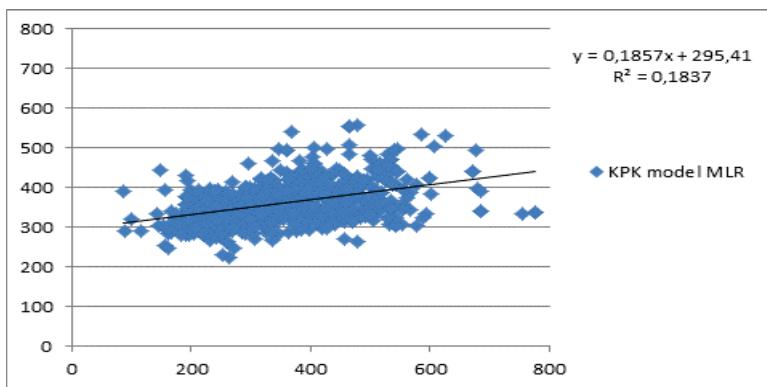
Slika 2. Međusobni odnos eksperimentalno dobivenih vrijednosti UTT u zraku i vrijednosti dobivenih MLR modelom

Regresijski koeficijent modela KPK iznosi je $R^2 = 0,1835$, a grafički prikaz slaganja modela za vrijednosti KPK_{model} dobivenih modelom i mjereneh vrijednosti KPK_{eksp} po pojedinom skupu podataka prikazan je na slici 3.



Slika 3. Slaganje MLR modela za KPK s eksperimentalno određenih vrijednostima KPK po pojedinom skupu podataka.

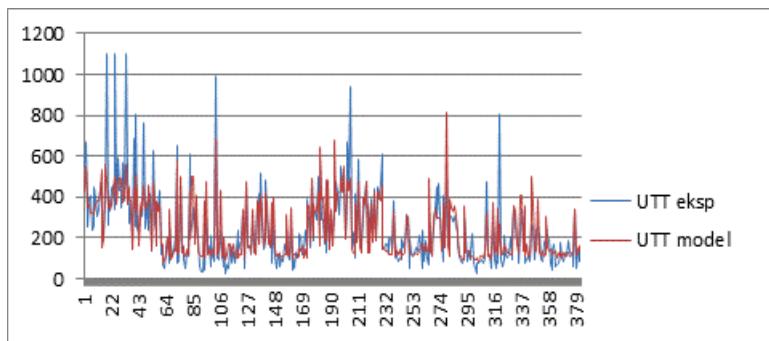
Odnos eksperimentaano dobivenih vrijednosti pokazatelja KPK i vrijednosti dobivenih MLR modelom s pripadajućim regresijskim koeficijentom prikzana je na slici 4.



Slika 4. Međusobni odnos eksperimentalno dobivenih vrijednosti KPK komunalne otpadne vode i vrijednosti dobivenih MLR modelom.

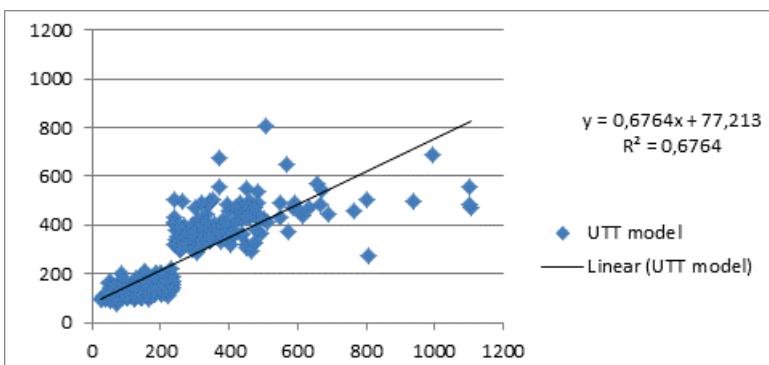
Djelomično linearni model podrazumjeva segmentno linearno postavljanje modela uz pomoć metode lokalne linearne regresije ("Piecewise Linear Regression", PLR), a za uzastopnu minimalizaciju odstupanja modela od eksperimentalno utvrđenih vrijednosti primjenjena je približna Newtonova metoda (engl. quasi Newton method). Optimalan model dobiven je nakon 60 ponavljanja («iteracija») minimiziranja srednjih kvadratnih odstupanja modela od eksperimentalnih podataka približnom Newtonovom metodom. Tako su određeni parametri modela (B) i vrijednost UTT i vrijednost KPK koje predstavljaju točke loma (y_0) svaka u svom modelu. Regresijski koeficijent PLR modela za UTT iznosio je $R^2=0,6764$, a točku loma u

model predstavlja vrijednost UTT = 238,56. Slaganje modelom predviđenih i eksperimentalno određenih vrijednosti UTT po pojedinom skupu podataka vidljivo je na slici 5.



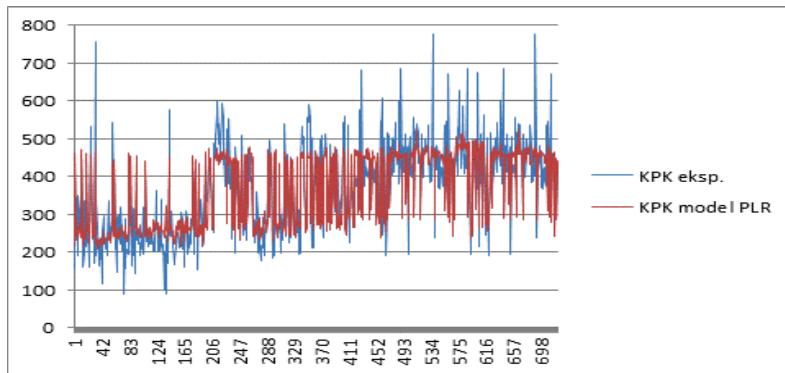
Slika 5. Slaganje PLR modela za UTT s eksperimentalno određenim vrijednostima UTT po pojedinom skupu podataka.

Odnos eksperimentaano dobivenih vrijednosti pokazatelja UTT i vrijednosti dobivenih PLR modelom s pripadajućim regresijskim koeficijentom prikzana je na slici 6.



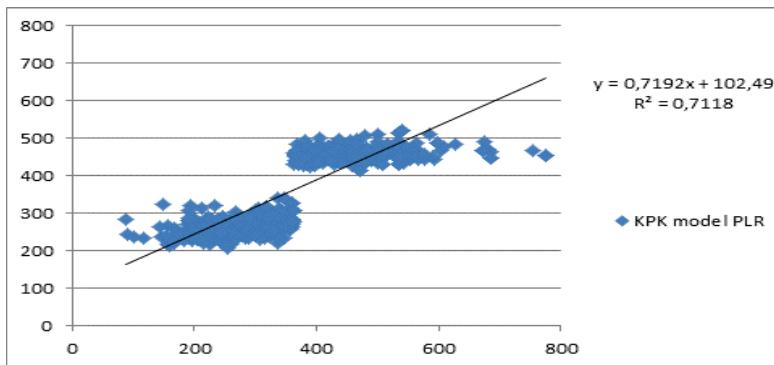
Slika 6. Međusobni odnos eksperimentalno dobivenih vrijednosti UTT i vrijednosti dobivenih PLR modelom.

Regresijski koeficijent PLR modela KPK iznosio je $R^2 = 0,7118$, a točku loma u modelu predstavlja vrijednost KPK = 356,4. Grafički prikaz slaganja modela za vrijednosti KPK_{model} dobivenih modelom i mјerenih vrijednosti KPK_{eksp} po pojedinom skupu podataka prikazan je na slici 7.



Slika 7. Slaganje PLR modela za KPK s eksperimentalno određenih vrijednostima KPK po pojedinom skupu podataka.

Odnos eksperimentaano dobivenih vrijednosti pokazatelja KPK i vrijednosti dobivenih PLR modelom s pripadajućim regresijskim koeficijentom prikzana je na slici 8.



Slika 8. Međusobni odnos eksperimentalno dobivenih vrijednosti KPK komunalne otpadne vode i vrijednosti dobivenih PLR modelom.

Iz prikazanih rezultata i uspoređenih vrijednosti regresijskog koeficijenta za oba modela MLR i PLR za zrak i otpadanu vodu vidljivo je da su vrijednosti regresijskih koeficijenata PLR modela daleko veće od onih dobivenih za MLR model. Ovo ukazuje na postojanje djelomično linearne veze među pokazateljima odnosno potvrđuje veću primjenjivost PLR modela za opis i predikciju ovih pokazatelja onečišćenja. S obzirom da je ovime pokazana djelomična nelinearnost za bolji opis i predikciju pokazatelja onečišćenja potrebno je izraditi nelinearni model odnosno primjeniti neke od naprednijih metoda modeliranja primjerice neuronske mreže ili genetički algoritam.

ZAKLJUČAK

Zadaća rada bila je utvrditi primjenjivost linearnih empirijskih modela za opis i predikciju ukupne taložne tvari (UTT) u zraku i kemijske potrošnje kisika (KPK) komunalne otpadne vode na području grada Splita. Usporedbom regresijskih koeficijenata izrađenih modela, vidljivo je da sposobnost predviđanja pokazatelja onečišćenja koju ima linearni model (MLR model), kojim je objašnjeno 44,45% (UTT) i 18,35% (otpadna voda) varijabilnosti svih podataka, je lošija od složenijeg modela lokalne linearne regresije (PLR model) kojim je objašnjeno 67,64% podataka (UTT) i 71,18 % (otpadna voda). Ovo upućuje na zaključak da se linearni i djelomično linearni modeli mogu koristiti za opis i predikciju pokazatelja onečišćenja, ali s obzirom na dobivene vrijednosti regresijskih koeficijenata potrebito je za potpuniji opis veza među pokazateljima uporabiti djelomično linearni model ili složenije modele i naprednije postupke modeliranja, kao što su umjetna inteligencija (neuronske mreže ili genetički algoritam). Ovo istraživanje predstavlja nužnost i korisnost vrednovanja i interpretacije velikih složenih skupova podataka dajući bolje informacije o kakvoći vode i zraka na nekom području te bolje oblikovanje nadzora s ciljem učinkovitog upravljanja ovim resursima.

LITERATURA

- Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter Ozone and Nitrogen Doixide (2003). Report on a WHO Workong Group, Bonn, Germany.
- K. P. Oliveira-Esquerre, D. E. Seborg, R. E. Bruns, M. Mori, (2004) *Chem. Eng. J.* **104** 73.
- Luis A. Díaz-Robles, Juan C. Ortega, Joshua S. Fu, Gregory D. Reed, Judith C. Chow, John G., Watson, Juan A., Moncada-Herrera (2008). A Hybrid ARIMA And Artificial Neural Networks Model To Forecast Particulate Matter In Urban Areas: The Case Of Temuco, Chile. *Atmospheric Environment, Volume 42, Issue 35, p. 8331-8340*
- Papanastasiou, D.K., Melas, D., Kioutsioukis, I. (2007). Development And Assessment Of Neural Network And Multiple Regression Models In Order To Predict Pm10 Levels In A Medium – Sized Mediterranean City. *Water Air Soil Pollution 182, p.325-334.*
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1996) American Public Health Association (APHA), Washington.
- StatSoft, Inc. (2010) STATISTICA (data analysis software system) version 10., <http://www.statsoft.com>

MONITORING OTPADNIH VODA TVORNICE ALUMINIJA

A.Višekruna¹, Z. Grizelj²

¹ Aluminij d.d., Bačevići b.b. Mostar

² Komunalno poduzeće Ljubuški, Vitina b.b., Ljubuški

SAŽETAK

Od samog početka njegovog rada u Aluminiju d.d. se zagovara integralni pristup zaštiti okoliša odnosno teži se ostvarenju koncepta upravljanja okolišem kroz stalno poboljšanje rada kao i kroz nadogradnju znanja i svijesti djelatnika uz praćenje i ispunjavanje zakonskih propisa što omogućava da se smanji negativan utjecaj na okoliš i doprinese održivom razvoju.

Osnovni aspekti zaštite okoliša su zaštita voda, zraka i tla i uz sve to gospodarenje otpadom.

Kad je riječ o zaštiti voda na prvom mjestu, kao imperativ, se nameće očuvanje postojeće kakvoće vodenog sustava rijeke Neretve.

U Aluminiju d.d., koji je smješten uz samu rijeku Neretvu, postoje sustavi za pročišćavaju otpadne vode nastalih kao posljedica tehnološkog procesa ili njegovih pratećih uslužnih djelatnosti. Otpadne vode industrijskih objekata, gdje se voda najčešće koristi kao medij za hlađenje u proizvodnom postupku čime se u određenoj mjeri onečišćuje raznim primjesama kao i oborite vode zagađene uljima s manipulativnih površina servisa, radionica, skladišta, garaža i sl., se prije ispusta pročišćavaju preko separatora - flotatora. Kvaliteta obrađene vode je zadovoljavajuća, što potvrđuju rezultati monitoringa, te kao takva se ispusta u prirodni vodotok rijeke Neretve. Ponekad su obrađene tehnološke vode koje se ispuštaju u Neretvu boljih fizikalno-kemijsko-biooloških pokazatelja kakvoće nego što je voda koja dolazi Neretvom. To je tako zbog dva razloga. Prvo, pročišćavanje otpadnih voda u Aluminiju je jako efikasno i drugo, Aluminij puno tehnološke vode crpi iz podzemnih bunara gdje je ona puno čistija od vode rijeke Neretve.

KLJUČNE RIJEČI: monitoring; tehnološke otpadne vode; Aluminij d.d.; Neretva, BPK₅; KPK; pH vrijednost; prijemnik; vodotok

UVOD

Prirodne vode služe kao izvorište za vodoopskrbu, ali istodobno i kao prijemnici upotrijebljene (otpadne) vode, pa je mogućnost promjene kakvoće vode sve veća.

Onečišćenja prirodnih voda su najčešće antropogenog porijekla tj. čovjekove djelatnosti predstavljaju bitan činitelj u promjeni sastava i koncentracije onečišćivača u prirodnim vodama. Otpad dospijeva u vodene sustave kao ostatak životnih i tehnoloških aktivnosti u više ili manje podjednakim količinama tijekom dana i godina. Ne smije se zanemariti niti utjecaj oborite vode, koja ispirje poljoprivredne i prometne površine kao i odlagališta krutog otpada. Očuvanje i zaštita kakvoće površinskih i podzemnih vode se provodi na lokalnoj, državnoj i međunarodnoj razini. Mjere i postupci za zaštitu voda dijele se na političke, pravne, gospodarske, finansijske, tehnološke i ekološke. Zaštita voda u Bosni i Hercegovini regulirana je Zakonom o zaštiti voda [1].

Svaki pojedinac/subjekt dužan je da zaštiti kvalitetu i količinu voda i koristi ih na takav način da se u

najmanjoj mogućoj mjeri utječe na ravnotežu ekosustava u skladu s uvjetima utvrđenim ovim zakonom i drugim propisima.

Zaštita voda i vodenih ekosustava uključuje klasifikaciju površinskih i podzemnih voda, zabranu i ograničenja koja se odnose na opterećenje voda, listu zabrana i ograničenja u zaštićenim područjima, uključujući kontrolu i prikupljanje podataka o zaštiti voda [1].

Otpadne vode u tvornici aluminija nastaju kod sistema hlađenja u podstanici i ljevaonici. Sve otpadne vode idu preko sustava za pročišćavanje voda (separator- flotator, TPSO - Korona), a sanitarnе otpadne vode idu i preko biološkog pročišćavača voda (bio disk modul-tip BDM), a zatim zajedno s rashladnim i oborinskim vodama se ispuštaju u rijeku Neretvu.

OTPADNE VODE

Vode koje su bile upotrijebljene u određenu svrhu i pri tome prikupile dopunska onečišćenja zbog koji je došlo do promjene njihovih fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava nazivaju se otpadne vode.

Otpadne vode predstavljaju u stvari mješavinu raznih vodom nošenih onečišćenja (otpadaka). Svojstva otpadnih voda se razlikuju prema mjestu odakle potječu, pa se mogu podijeliti u komunalne (kućanske), industrijske i poljoprivredne otpadne vode.

Kod zajedničkog odvođenja i prečišćavanja komunalnih i industrijskih otpadnih voda postavlja se problem raspodjele troškova prečišćavanja i procjene utjecaja industrijskih otpadnih voda na postrojenje za prečišćavanje ili na prirodne prijemnike otpadnih voda.

Zbog toga se u praksi koristi pojам ekvivalentni broj stanovnika (EBS). Opterećenja industrijskih otpadnih voda se izražavaju odgovarajućim ekvivalentnim brojem stanovnika čime se pojednostavljaju tehnoekonomski i tehnički proračuni. Ekvivalentni broj stanovnika najčešće se definira tako što se svojstva neke otpadne vode u pogledu sadržaja BPK₅ usporede s uobičajenim vrijednostima za komunalne otpadne vode.

Utvrđivanje tereta zagadenja otpadnih voda Aluminija d.d. Mostar izraženog preko ekvivalentnog broja stanovnika (EBS) se vrši svako dvije godine po Pravilniku o načinu obračunavanja, postupku i rokovima za obračunavanje i plaćanje i kontroli izmirivanja obaveza na temelju opće vodne naknade i posebnih vodnih naknada [2] i Izmjenama i dopunama Pravilniku o načinu obračunavanja, postupku i rokovima za obračunavanje i plaćanje i kontroli izmirivanja obaveza na temelju opće vodne naknade i posebnih vodnih naknada [3].

Sukladno gore navedenoj zakonskoj regulativi Aluminij d.d. Mostar svake godine pravi plan aktivnosti nadzora nad tehnološkim otpadnim vodama, podzemnim i vodama rijeke Neretve koji provodi za to ovlašteni laboratoriј.

Otpadne vode u Aluminiju d.d. Mostar su svrstane u tri kategorije. To su: rashladne, oborinske i sanitarnе otpadne vode.

Sva obrađena tehnološka voda se preko kolektora ispušta u Neretvu.

KRITERIJI ISPUŠTANJA OTPADNIH VODA

Vodu smatramo onečišćenom ako je količina otpadnih tvari u njoj veća od količine propisane standardom o kvaliteti vode ili ako se zbog vrste prisutnih otpadnih tvari ne može koristiti za određenu namjenu. Da bi se zaštitile površinske vode, potreban je sustavni i kontinuirani nadzor njihove kvalitete [4].

Nekoliko je parametara koji ukazuju na kvalitetu obrađene otpadne vode nastale tijekom proizvodnje aluminija. Najčešći su: pH vrijednost, suspendirane tvari, alkalitet, fluoridi, biološka potrošnja kisika (BPK₅) i kemijska potrošnja kisika (KPK).

Onečišćenje površinskih voda je veliki problem zbog toga što se voda sporo regenerira, te zbog toga treba sprječiti daljnje onečišćavanje površinskih voda. To se može postići ugradnjom sustava za pročišćavanje otpadnih voda i njihovim pročišćavanjem prije nego se ispuste u prirodne prijemnike.

Istodobno s ispuštanjem otpadnih voda treba kontrolirati stanje vodnih sustava u koje se ove vode ispuštaju, kako bi se sprječile sve neželjene promjene u ekosustavu.

Prema tome, uvjeti ispuštanja se ne smiju odrediti temeljem povratnih informacija, jer bi nakon nastalih promjena već bilo prekasno za promjenu načina upravljanja sustavom odvodnje [4].

Svi standardi za zaštitu ekosustava mogu se svrstati u dvije skupine:

- (1) standardi prijemnika,
- (2) standardi ispuštenje vode (efluenta).

U biti, ova dva pristupa zasnivaju se na potrebi da se zaštite prijemnici, samo što se propisi o standardu efluenta postepeno s vremenom sve više zaoštravaju s ciljem da se postigne zadovoljavajuća kvaliteta prijemnika.

Europska unija je postupno uvela jedinstvene propise za zaštitu voda na čitavom svom području i utvrdila kvalitetu pojedinih skupina otpadnih voda, odnosno propisala za svaku skupinu stupanj obaveznog pročišćavanja.

Kod nas polazište u zakonskoj regulativi za zaštitu voda čini Zakon o vodama [1]. Ovim se zakonom uređuje način upravljanja vodama unutar teritorija Federacije Bosne i Hercegovine.

Granične vrijednosti opasnih i štetnih tvari za tehnološke otpadne vode su regulirane Uredbom o uvjetima ispuštanja otpadnih voda u prirodne recipijente i sustav javne kanalizacije [5].

U Aluminiju d.d. ulažu se veliki napor i velika sredstva za zaštitu okoliša, i to modernizacijom samog proizvodnog procesa i izgradnjom postrojenja za pročišćavanje i uklanjanje opasnog otpada [6].

KONTROLA KVALITETE (MONITORING) OTPADNIH VODA

Monitoring otpadnih voda vrši se po Uredbi o uvjetima ispuštanja otpadnih voda u prirodne recipijente i sustav javne kanalizacije [5]. Minimalni broj godišnjih uzorkovanja ovisi od količine tehnoloških otpadnih voda.

Dinamika ispitivanje tehnoloških otpadnih voda je dana u tablici 1.

Tablica 1: Dinamika ispitivanje tehnoloških otpadnih voda.

Protok otpadne vode (m^3/dan)	Broj ispitivanja u tijeku godine
< 20	2
20 - 50	4
50 - 100	6
100-500	8
>500	12

Uzorkovanje se vrši po mogućnosti automatski, a ako to nije moguće, treba uzimati trenutne 15 - minutne uzorke i praviti kompozitne uzorke uz evidenciju protoka. Uzorke pročišćene vode treba uzimati na izlaznom otvoru separatora na otprilike srednjoj dubini vode.

Ocjena kvalitete otpadnih voda vrši se za svaku pojedinu seriju ispitivanja kao i zbirno za sve serije u tijeku jedne godine. Pri tome se na razini jedne godine dozvoljava određeno odstupanje od propisanih graničnih vrijednosti bilo kojeg ispitivanog parametra, ali u ovisnosti od ukupnog broja mjerjenja (tablica 1). Uredbe o uvjetima ispuštanja otpadnih voda u prirodne recipijente i sustav javne kanalizacije [5].

Analiza industrijskih otpadnih voda obuhvaća parametre navedene u tablici 2. Ispitivanje pojedinih parametara vrši se po analitičkim metodama sukladno BAS/EN/ISO standardima ili drugim metodama koje daju ekvivalentne rezultate u pogledu preciznosti i pouzdanosti.

Samo akreditirani laboratorij može vršiti ocjenu kvalitete tehnoloških otpadnih voda.

Sva pojedinačna i zbirna godišnja ispitivanja tehnoloških otpadnih voda Aluminija d.d. se dostavljaju Agenciji za vodno područje Jadranskog mora, dr. Ante Starčevića bb, Mostar.

Izvješće o rezultatima analize ispitivanog uzorka, rađeno sukladno programu monitoringa voda, a u svrhu ispunjavanja obveza prema Ministarstvu trgovine, turizma i zaštite okoliša HNZ i Agencije za vodno područje.

Ispitivanje kvalitativnih i kvantitativnih karakteristika tehnoloških otpadnih voda Aluminija d.d. Mostar se vrši s ciljem određivanja kvalitete influenta tj. sirove otpadne vode na ulazu u separator-flotator i efluenta odnosno pročišćene otpadne vode na izlazu iz uređaja.

Tablica 2: Analitičke metode ispitivanja parametara kakvoće vode:

Ispitivani uzorak	Opis metode	Metoda ispitivanja
temperatura °C	termometrijski, mjereno in situ	BAS DIN38404-4:2010
pH vrijednost	elektrometrijska metoda in situ	BAS ISO 10523:2013
alkalitet (mmol/l)	titracijska metoda	BAS EN ISO 9963-1:2000
elektroprovodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	elektrometrijska metoda	BAS EN ISO 27888:2002
isparni ostatak 105°C(mg/l)	gravimetrijska metoda	St. metoda, 19 th Edition(254OB)
Pepeo na 550 °C (mg/l)	gravimetrijska metoda	St. metoda, 19 th Edition(254OE)
suspendirane tvari (mg/l)	gravimetrijska metoda	St. metoda, 19 th Edition(254OE)
KPK - $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (mgO ₂ /l)	titrimetrijska metoda	BAS ISO 660:2000
BPK ₅ (mgO ₂ /l)	elektrometrijska metoda	BAS EN 1899-1:2002
kloridi (mg/l)	Mohr-ova metoda, titracijski	BAS ISO 9297:2002
sulfati (mg/l)	spektrofotometrijska metoda	St. metoda, 19 th Edition(4500E)
amonijak (NH ₄ – N) (mg/l)	spektrofotometrijska metoda	BAS ISO 7150-1:2002
nitrit (NO ₂ – N) (mg/l)	spektrofotometrijska metoda	BAS EN 26777:2000
nitrat (NO ₃ – N) (mg/l)	spektrofotometrijska metoda	BAS ISO 7890-3:2002

ukupni dušik (mg/l)	digestija, titracijska metoda	BAS EN 25663:2000
orto-fosfat (mg/l)	spektrofotometrijska metoda	BAS EN ISO 6878:2006 (dio 4)
ukupni fosfor (mg/l)	spektrofotometrijska metoda	BAS EN ISO 6878:2006 (dio 8)
test toksičnost (48 LC ₅₀) Daphnia Magna	toksikološka metoda	BAS EN ISO 6341:2012
ukupna ulja i masti (mg/l)	APHA-AWWA-WEF Standard methods 5520 (C)	
mineralna ulja (mg/l)	APHA-AWWA-WEF Standard methods 5520 (F)	

REZULTATI

Tablica 3: Prosječne vrijednosti monitoringa tehnoloških otpadnih voda "Aluminij" d.d. Mostar u toku 2012. godine

PARAM ETRI	Gran. vrijed. emisije ind.otpad. voda koje se ispuštaju		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	$\Sigma / \frac{1}{2}$
	Pov rš. Vod e	Kan al. sust avi													
Temperatura vode (°C)	30	40	20, 5	21, 3	18, 9	21, 1	22, 0	20, 9	23, 1	21, 0	22, 0	21, 1	20, 5	19, 7	20, 0
pH vrijednost	6,5-9,0	6,5-9,5	8,0 2	8,0 0	7,9 3	7,9 3	8,0 0	7,7 3	8,0 2	7,4 7	7,8 1	7,9 5	7,6 3	7,8 9	7,8 7
Sadr. otop. O ₂ (mgO ₂ /l)			8,8 5	7,9 5	9,8 2	10, 03	8,5 0	9,5 2	9,1 1	9,9 0	8,9 5	7,6 2	8,2 2	8,8 0	8,9 4
m-alkalit. (mg/l CaCO ₃)	-	-	180	172	176	162	161	158	163	180	174	171	174	163	170
Elektroprovod. (μS/cm)	-	-	310	356	322	331	325	329	332	306	336	321	309	315	324
Isp.ost. na 105 °C (mg/l)	-	-	286	367	354	265	281	247	251	202	368	325	280	345	298
Pepeo na 550 °C (mg/l)	-	-	193	276	239	169	190	173	170	157	213	221	170	242	201
Vol. tv.na 550 °C (mg/l)	-	-	93	91	115	96	91	74	81	45	155	104	110	103	97
Suspend. tvari (mg/l)	35	400	4,7	8,7	4,5	9,3	6,1	9,3	8,0	3,5	7,2	6,8	7,0	3,7	6,6
KPK-K ₂ Cr ₂ O ₇ (mgO ₂ /l)	125	700	22	31	24, 5	-	-	-	32	39	-	-	-	-	29, 7
Utroš. KMnO ₄ (mgO ₂ /l)	-	-	-	-	-	9,5	10, 2	8,6 9	-	-	5,3 7	7,3 1	6,0	16, 1	9,0
BPK ₅ (mgO ₂ /l)	25	250	6	10	7,5	3,7	4,2 0	3,1 5	16	18	2,1 5	3,5 3	3,1	4,0	6,7 8
Amonijak (NH ₄ -N, mg/l)	10, 0	40,0	0,1 10	0,1 73	0,1 24	0,0 82	0,0 71	0,0 50	0,0 53	0,0 60	0,0 30	0,0 33	0,0 40	0,1 4	0,0 81
Nitriti (NO ₂ -N, mg/l)	0,5 0	10,0	0,0 10	0,0 23	0,0 12	0,0 17	0,0 30	0,0 25	0,0 20	0,0 03	0,0 06	0,0 07	0,0 09	0,0 11	0,0 14
Nitrati (NO ₃ -N, mg/l)	10, 0	50,0	0,6 2	0,9 7	0,4 4	1,5 5	1,7 5	2,9 0	1,1 0	0,3 2	1,9 0	1,1 1	0,8 8	1,1 4	1,9 7
Ukupni dušik	15	100	2,0 5	2,4 2	2,1 5	2,0 0	2,2 0	3,1 6	2,1 6	0,9 2	3,2 0	2,8 0	1,9 0	1,7 5	2,2 3

(Nmgl)															
Orto fosfat (P mg/l)			0,0 51	0,0 84	0,0 60	0,0 63	0,0 70	0,0 75	0,0 65	0,0 64	0,0 22	0,0 28	0,0 21	0,0 34	0,0 53
Ukupni fosfor (P mg/l)	2,0	5,0	0,0 82	0,0 92	0,0 75	0,0 70	0,0 80	0,0 80	0,0 73	0,0 80	0,0 26	0,0 32	0,0 27	0,0 65	0,0 65
Sulfati (SO ₄ mg/l)	200	300	28, 0	42, 0	31, 5	23, 5	20, 0	24, 0	24, 3	30, 0	38, 1	28, 4	24, 1	22, 9	28, 1
Kloridi (mg/l)	250	250	11, 2	27, 2	12, 0	16, 3	17, 5	18, 5	12, 2	6,0	8,2	7,2	6,5	7,5	12, 5
Ukup. ulja i masti (mg/l)	20, 0	100	<0, 1*	<0, 1*											
Mineralna ulja (mg/l)	10, 0	20,0	<0, 1*	<0, 1*											
Fluoridi (mg/l)	10, 0	20,0	1,6 2	0,9 2	2,1 5	1,1	0,9	0,1	0,3 2	0,2 3	0,4 4	1,2 0	1,1 2	0,5 3	0,8 9
Toksičnost (48LC ₅₀)	>50 %	-	100	100	100	100	100	100	90	90	95	95	95	100	97
Ukupna kol. vode (m ³)			109 58	997 0	142 20	113 20	170 10	133 90	102 20	126 50	158 50	187 50	171 30	175 87	140 88

Tablica 4: Prosječne vrijednosti monitoringa tehnoloških otpadnih voda "Aluminij" d.d. Mostar u toku 2013. godine

PARAMETRI	Granične vrijednosti emisije ind.otpad. voda koje se ispuštaju		I	II	III	IV	V	VI	VII	VII I	IX	X	XI	XII	Σ^1_2
	Površinski Vodno tijela	Kanalizacijski sustavi													
Temperatura vode (°C)	30	40	18, 7	21, 0	22, 0	18, 1	19, 3	19, 4	21, 5	25, 7	25, 1	23, 5	20, 8	19, 0	21, 2
pH vrijednost	6,5-9,0	6,5-9,5	7,9 0	7,8 2	7,3 3	7,4 5	7,6 5	7,8 5	7,9 5	7,8 2	7,8 5	7,9 7	7,9 2	7,9 0	7,7 8
Sadr. otop. O ₂ (mgO ₂ /l)			8,6 1	8,2 0	7,9 0	8,5 0	7,2 1	9,0 3	8,8 3	8,1 4	8,1 8	8,1 7	9,1 1	8,3 0	8,3 5
m-alkalit. (mg/l CaCO ₃)	-	-	160	164	166	144	14 6	160	160	160	156	174	165	171	161
Elektroprovod. (μS/cm)	-	-	327	334	391	365	36 7	319	311	310	301	329	325	337	335
Isp.ost. na 105 °C (mg/l)	-	-	251	214	422	383	39 5	340	345	340	335	345	342	344	338

Pepeo na 550 °C (mg/l)	-	-	163	178	242	230	24 1	205	215	205	235	240	220	223	216
Vol. tv.na 550 °C (mg/l)	-	-	88	36	180	153	15 4	135	130	135	100	105	122	121	122
Suspend. tvari (mg/l)	35	400	4,5 0	4,2 0	9,2 0	4,2 0	4,0 0	2,1 0	2,2 2	2,1 5	3,1 0	1,9 0	1,5 0	1,2 0	3,3 6
KPK- K ₂ Cr ₂ O ₇ (mgO ₂ /l)	125	700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utroš. KMnO ₄ (mgO ₂ /l)	-	-	4,1 5	3,4 8	6,7 9	4,4 2	4,7 0	6,0	6,5 0	7,2 7	7,5 8	6,3 2	6,6 0	6,5 3	5,8 6
BPK ₅ (mgO ₂ /l)	25	250	2,1 0	1,8 5	1,5 0	1,0 4	1,9 1	1,9 5	1,7 0	1,8 2	3,0 5	1,3 5	1,7 5	1,6 1	1,8 0
Amonija k (NH ₄ ⁺ N,mg/l)	10,0	40,0	0,1 0	0,1 5	0,0 6	0,1 6	0,1 4	0,0 6	0,0 9	0,1 5	0,0 90	0,1 3	0,0 72	0,0 73	0,1 06
Nitriti (NO ₂ ⁻ N,mg/l)	0,50	10,0	0,0 11	0,0 09	0,0 10	0,0 12	0,0 10	0,0 07	0,0 05	0,0 08	0,0 08	0,0 05	0,0 10	0,0 09	0,0 09
Nitrati (NO ₃ ⁻ N,mg/l)	10,0	50,0	0,7 1	0,5 6	1,7 0	1,6 3	1,4 3	0,1 0	1,1 0	1,0 3	0,5 0	0,7 7	1,4 0	1,3 0	1,0 2
Ukupni dušik (Nmg/l)	15	100	1,1 5	0,9 5	2,3 0	3,1 0	2,8 6	1,1 0	1,9 5	2,0 0	1,4 3	1,9 0	2,0 0	2,1 6	1,9 1
Orto fosfat (P mg/l)			0,0 28	0,0 21	0,0 19	0,0 10	0,0 13	0,0 40	0,0 35	0,0 28	0,0 27	0,0 19	0,0 15	0,0 17	0,0 23
Ukupni fosfor (P mg/l)	2,0	5,0	0,0 40	0,0 32	0,0 23	0,0 18	0,0 20	0,0 46	0,0 41	0,0 39	0,0 39	0,0 27	0,0 25	0,0 30	0,0 32
Sulfati (SO ₄ mg/l)	200	300	26, 7	27, 5	27, 0	24, 0	23, 0	26, 0	17, 0	5,0	30, 0	25, 0	19, 5	22, 0	22, 7
Kloridi (mg/l)	250	250	10, 2	12, 0	8,0	7,0	8,0	13, 5	9,5	5,5	5,1	7,3	7,5	8,3	8,5
Ukup. ulja i masti (mg/l)	20,0	100	<0, 1*	<0, 1*											
Mineraln a ulja (mg/l)	10,0	20,0	<0, 1*	<0, 1*											
Fluoridi (mg/l)	10,0	20,0	0,3 6	0,1 9	0,2 4	0,2 6	0,7 2	0,2 3	0,5 3	0,3 2	0,2 0	0,2 6	0,3 7	0,1 9	0,3 2
Toksičn ost (48LC ₅₀)	>50%	-	100	100	100	100	10 0	100	100	100	100	100	100	100	100
Ukupna			173	123	156	102	98	117	161	144	137	174	161	151	141

kol. vode (m ³)		30	80	78	30	95	30	90	30	20	44	00	00	86
-----------------------------------	--	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----------

Tablica 5: Prosječne vrijednosti monitoringa tehnoloških otpadnih voda "Aluminij" d.d. Mostar u toku 2014. godine

PARAM ETRI	Granične vrijednosti emisije ind.otpad. voda koje se ispuštaju		I	II	III	IV	V	VI	VII	VII I	IX	X	XI	XII	ΣI_2
	Povr š. vod.ti jela	Kan aliz. s.													
Tempera tura vode (°C)	30	40	17, 2	23, 0	20, 9	21, 8	22, 0	20, 9	25, 4	24, 1	23, 3	23, 9	22, 8	17, 0	21, 86
pH vrijedno st	6,5- 9,0	6,5- 9,5	7,5 9	8,0 3	7,9 0	7,9 5	8,0 2	7,8 2	8,0 9	8,0 0	7,9 5	7,8 0	8,0 0	7,6 5	7,9 3
Sadr. otop. O ₂ (mgO ₂ /l)			8,7 9	8,3 0	8,7 2	8,5 5	8,9 5	9,0 5	8,1 4	8,2 2	8,4 2	8,7 3	8,8 7	9,8 2	8,7 1
m- alkalit. (mg/l CaCO ₃)	-	-	162	166	165	157	159	165	168	170	172	168	175	162	166
Elektrop rovod. (μS/cm)	-	-	317	351	365	325	328	366	355	360	344	310	370	384	348
Isp.ost. na 105 °C (mg/l)	-	-	362	273	400	375	347	320	377	395	411	298	385	427	364
Pepeo na 550 °C (mg/l)	-	-	269	208	225	277	252	232	252	280	306	241	280	314	261
Vol. tv.na 550 °C (mg/l)	-	-	93	65	175	98	95	88	125	115	105	57	105	113	103
Suspend. tvari (mg/l)	35	400	4,9	3,9	6,2	4,9	2,8	1,9	4,3	5,7	6,0	2,9	6,3	7,5	4,8
KPK- K ₂ Cr ₂ O ₇ (mgO ₂ /l)	125	700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utroš. KMnO ₄ (mgO ₂ /l)	-	-	6,7 0	5,2 2	5,7 5	5,2 2	5,0 0	8,3 0	7,2 2	7,9 2	8,4 7	9,1 6	8,8 0	9,0 5	7,2 3
BPK ₅ (mgO ₂ /l)	25	250	1,9 3	1,7 2	2,0 0	1,5 1	1,7 2	3,1 0	2,9 1	3,1 1	2,9 5	2,0 5	3,0 0	3,2 0	2,4 3

)																
Amonijak (NH ₄ ⁺ -N, mg/l)	10,0	40,0	0,15	0,11	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,09	0,04	0,13	0,07	0,10	0,15	0,11
Nitriti (NO ₂ ⁻ -N, mg/l)	0,50	10,0	0,010	0,008	0,009	0,011	0,010	0,011	0,007	0,008	0,013	0,0045	0,009	0,015	0,096	
Nitrati (NO ₃ ⁻ -N, mg/l)	10,0	50,0	1,21	1,32	1,55	1,15	0,96	1,22	1,51	1,75	1,50	0,55	1,60	1,77	1,34	
Ukupni dušik (Nm ^g /l)	15	100	1,92	2,20	2,10	1,90	1,37	2,00	2,00	2,73	2,10	0,90	2,55	2,52	2,02	
Orto fosfat (P mg/l)			0,028	0,019	0,027	0,024	0,027	0,033	0,031	0,039	0,025	0,027	0,030	0,025	0,028	
Ukupni fosfor (P mg/l)	2,0	5,0	0,041	0,035	0,039	0,036	0,040	0,048	0,040	0,052	0,040	0,039	0,040	0,034	0,040	
Sulfati (SO ₄ mg/l)	200	300	25,0	24,5	25,0	26,0	17,0	17,0	20,0	22,0	23,5	20,0	15,0	16,0	20,9	
Kloridi (mg/l)	250	250	9,0	11,0	11,0	8,5	10,5	8,5	10,0	7,0	8,0	5,0	9,3	11,0	9,1	
Ukup. ulja i masti (mg/l)	20,0	100	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	
Mineralna ulja (mg/l)	10,0	20,0	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	<0,1*	
Fluoridi (mg/l)	10,0	20,0	0,72	0,61	0,44	0,50	1,10	1,20	0,88	1,28	1,10	0,15	1,20	1,30	0,87	
Toksičnost (48LC ₅₀)	>50 %	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Ukupna kol. vode (m ³)			16750	11910	12570	14810	17220	12800	11950	15330	18100	17180	17700	18350	15389	

* koncentracija ispod praga osjetljivosti metode

OCJENA KVALITETA OTPADNIH VODA

Otpadne vode koje nastaju kod proizvodnje aluminija su većim djelom nastale kod sustava hlađenja u ljevaonici i hlađenja u podstanici. Sanitarne otpadne vode idu na bio disk, a zatim zajedno s rashladnim i oboritim otpadnim vodama, nakon separatora-flotatora, se ispuštaju u rijeku Neretvu.

Prikazani rezultati monitoringa (tablice 3, 4 i 5) pokazuju da su tehnološke otpadne vode tvornice Aluminij d.d. Mostar nisko opterećene. Niti jedan od parametara koje zahtjeva monitoring se ne približava graničnim vrijednostima emisije industrijskih otpadnih voda koje se ispuštaju u površinska vodna tijela.

U tablicama 6. i 7. su dani rezultati mjerenja u 2012., 2013. i 2014. godini i njihova usporedba s graničnim vrijednostima sukladno Uredbi o uvjetima ispuštanja otpadnih voda u prirodne recipijente i sustav javne kanalizacije [5].

Tablica 6: Specifični parametri / pokazatelji monitoringa kvalitete obrađenih tehnoloških otpadnih voda (prosječne vrijednosti u dvosatnom uzorku)

Parametri	Uzorkovanje			MDK
	2012.	2013.	2014.	
suspendirane tvari (mg/dm ³)	6,6	3,36	4,8	35
KPK (mg O ₂ /dm ³)	29,7	nije mjerljiv dikromatnom metodom		125
BPK ₅ (mg O ₂ /dm ³)	6,78	1,8	2,43	25
ukupni dušik (mg N/dm ³)	2,23	1,91	2,05	10
ukupni fosfor (mg P/dm ³)	0,065	0,032	0,04	1,0

Tablica 7: Specifični parametri onečišćenja u kompozitnom 24 - satnom uzorku kod određivanja tereta zagađenja izraženog preko ekvivalentnog broja stanovnika (EBS)

Parametri	Uzorkovanje				MDK	
	2012.		2014.			
	I	II	I	II		
pH vrijednost	7,85	7,86	8,4	8,4	6 - 9	
m-alkalitet (mg CaCO ₃ /dm ³)	164	173	169	170	-	
mutnoća (NTU)	3,0	3,6	-	-	-	
električna provodljivost (μS/cm)	317	320	389	389	-	
ukupna ulja i masti (mg/dm ³)	2,22	2,31	0,4	0,6	20	
deterdženti (mg/dm ³ DBS)	0,034	0,034	-	-	1,0	
fluoridi (mg F ⁻ /dm ³)	0,54	0,56	<0,1*	<0,1*	2,0	
ispareni ostatak na 105 ⁰ C (mg/dm ³)	348	354	271	275	-	
pepeo na 550 ⁰ C (mg/dm ³)	246	240	202	205	-	

volatilne tvari na 550°C (mg/dm ³)	102	114	69	70	-
EBS (ES)	1154	1490	1632	1632	

Zakonska obaveza pri određivanju ekvivalentnog broja stanovnika je da se uzorkovanje vrši kontinuirano 48 sati (I-prvi dan, II-drugi dan)

S obzirom da se za teret zagađenja usvaja vrijednost EBS-a iz dana koji ima veću vrijednost, to ukupni EBS iznosi za:

- 2012. godinu EBS = 1490 ES
- 2014. godinu EBS = 1632 ES

Rezultati analiza fizikalno kemijskih pokazatelja kakvoće obrađene tehnološke otpadne vode ukazuju da ta voda u potpunosti odgovara standardu za vode druge (II) kategorije u koju spada i voda prijemnika tj. rijeke Neretve.

Podaci o emisijama u vodu iz tvornica aluminija u slučaju korištenja najboljih raspoloživih tehnologija (BAT-a) i u Aluminiju d.d. Mostar prikazani su u tablici 8.

Tablica 8: Usporedni podatci o emisijama u vodu iz Aluminiju d.d. Mostar prema BAT-i

Parametri	* Koncentracije u slučaju korištenja BAT-a	Mjerenja u "Aluminij" – u d.d.		
		2012.	2013.	2014
Suspendirane tvari (mg/dm ³)	14	6,6	3,36	4,8
KPK (mg O ₂ /dm ³)	37	29,7	-	-
Fluoridi (mg F ⁻ /dm ³)	17	0,89	0,32	0,87

*Napomena: Emisije su dane kao dnevni prosjeci bazirano na kontinuiranom mjerenu za vrijeme radnog perioda (podaci iz Aluminium – Dunkirk).

ZAKLJUČAK

1. Otpadne vode u Aluminiju d.d. Mostar su svrstane u tri kategorije. To su: rashladne, oborite i sanitарne otpadne vode.
2. Obrada ovih otpadnih voda vrši se postupcima prethodnog, prvog i drugog stupnja pročišćavanja.
3. Tipski filterski paketi (TPSO - Korona) prihvata cijelokupnu količinu tehnološke rashladne vode, neutralizirane vode iz laboratorija, oborinske vode te nakon bio diska obrađene sanitarnе vode. U flotatoru – separatoru (TPSO - Korona) vrši se prvi stupanj pročišćavanja otpadnih voda, tj. taloženje pjeska i mulja i isplivavanja ukupnih masti i ulja.
4. Kvaliteta vode na izlazu iz separatora u potpunosti odgovara standardu za vodu

- druge (II) kategorije (u koju spadaju vode rijeke Neretve).
5. Bio disk modul-tip BDM je uredaj za pročišćavane sanitarnih (fekalnih) otpadnih voda tj. voda koje u njega kanalizacionim sustavom dolaze iz restorana i sanitarnih uređaja (WC). U bio disku se vrši drugi (biološki - aerirani) stupanj pročišćavanja otpadnih voda.
 6. Sva voda iz tvornice se putem jednog kolektora ispušta u prijemnik tj. Neretu i svako dvije godine se vrši utvrđivanje tereta zagađenja izraženog preko ekvivalentnog broja stanovnika (EBS).
 7. Rezultati monitoringa u 2012., 2013. i 2014. godini i njihova usporedba s graničnim vrijednostima sukladno Uredbi o uvjetima ispuštanja otpadnih voda u prirodne recipijente i sustav javne kanalizacije [5] pokazuju da se pročišćena voda svojom kvalitetom uklapa u granične vrijednosti propisane navedenim pravilnikom.
 8. U obrađenoj vodi koja se ispušta u prijemnik iz Aluminiju d.d. Mostar, sadržaj suspendiranih tvari, KPK i fluorida je daleko ispod preporuka u slučaju korištenja BAT-a..

LITERATURA

1. Zakon o vodama, Službene novine F BiH, broj 70/06. F BiH od 20.11.2006. godine.
2. Pravilniku o načinu obračunavanja, postupku i rokovima za obračunavanje i plaćanje i kontroli izmirivanja obaveza na temelju opće vodne naknade i posebnih vodnih naknada, (Službene novine F BiH, broj 92/07 od 19.12.2007. godine)
3. Pravilniku o izmjenama i dopunama Pravilnika o načinu obračunavanja, postupku i rokovima za obračunavanje i plaćanje i kontroli izmirivanja obaveza na temelju opće vodne naknade i posebnih vodnih naknada, (Službene novine F BiH, broj 79/11 od 23.12.2011. godine)
4. Pročišćavanje otpadnih voda (2009.). Informacija preuzeta s interneta.
<http://www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/opskrbavodom/.../2.6-P.pdf>
5. Uredba o uvjetima ispuštanja otpadnih voda u prirodne recipijente i sustav javne kanalizacije, Službene novine F BiH broj 4/12 od 13.01.2012. godine.
6. A.Višekruna, J.Lukić, Međunarodna konferencija o upravljanju opasnim i neopasnim otpadom u regiji, Otpadne vode tvornice aluminija, Zenica 2010.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA IZVORIŠTA "BLACE" KOD NEUMA

Ivan Antunović, Danijela Ljubić

Integra d.o.o. Mostar, Dr. Ante Starčevića bb, 88 000 Mostar, BiH

SAŽETAK

Izvoriste Blace nalazi se na području krškog polja Blace, 3,2 km sjeveroistočno od grada Neuma, na lokaciji povremenog kraškog izvora Vir na koti oko 85 m.n.m. Uz ovaj izvor nalazi se još nekoliko manjih povremenih izvora koja se aktiviraju u vrijeme otapanja snijega i nakon obimnijih kiša. Od izvora Vir nastavlja se u manji potok koji uvire u podzemlje u jugozapadnom obodu polja Blace.

Na širem području mogućeg sliva izvorišta Blace su do sada u nekoliko navrata obavljeni istražni radovi. Dobiveni rezultati su upućivali na mogućnost zahvaćanja većih količina podzemne vode od postojećih 5 - 10 l/s. Tijekom 1999. godine, a na temelju rezultata istraživanja, izvedena su dva zdenca izdašnosti približno 18 l/s i 13 l/s.

Tijekom 2007. godine, a radi određivanja još jedne lokacije za izvedbu zdenca, izvedena su dodatna geofizička ispitivanja na užem području ovog izvorišta čiji su rezultati ukazali na mogućnost izvedbe novog bunara i zahvaćanja podzemnih voda na većim dubinama nego je postignuto sa prethodna dva bunara.

U 2012 i 2013. godini obavljena su dodatna geološka i hidrogeološka istraživanja, urađena je dokumentacija koja je sadržavala studiju, idejno rješenje i glavni projekt bunara dubine od 100 m. Bunar je izведен tijekom 2013. godine na kojim su testiranjem crpljenjem utvrđene eksploatacijske mogućnosti bunara veće od 60 l/s u ekstremno sušnim razdobljima. Iako se izvorište nalazi svega 3 km od obale utvrđeno je da na podzemne vode ovog izvorišta nema utjecaja mora.

Za potrebe uspostave zaštite ovog izvorišta 2014. godine su obavljena dodatna geomorfološka, geološka i hidrogeološka terenska istraživanja i istraživanja daljinskom detekcijom.

Ovim istraživanjima je utvrđena nedvojbena veza s izvorima u području Kuti. Znakovito je da nijedno od izvedenih brojnih trasiranja podzemnih voda, koja su obavljena u području Popova polja i šire, nisu utvrdili podzemnu vezu s ovim izvorom. Izvedbom novih istraživanja utvrđene su hidrogeološke granice sliva, utvrđen je hidrogeološki sklop sliva i uzrok povremenog plavljenja polja Blace na kojem se i nalazi izvorište.

U radu će biti prikazan tijek provedenih istraživanja s znakovitim prikazom dobivenih rezultata.

Ključne riječi: krš; sliv; okršavanje; podzemne vode; zaštitne zone

UVOD

Vodoopskrba dijela općine Neum obavlja se najvećim dijelom preko vodovodnog sustava Gabela – Neum. Sustav je izgrađen prije više od 30 godina i opterećen je problemima složenog održavanja i kontinuiranog smanjenje kvalitete vode. Prije izgradnje ovog sustava, naselje Neum sa okolnim zaseocima opskrbljivao se pitkom vodom sa izvorišta Blace. S obzirom na ove činjenice i aktivnošću općinskih struktura, a poglavito Komunalnog poduzeća Neum, na izvorištu Blace su do sada u nekoliko navrata obavljeni istražni radovi. Dobiveni rezultati su ukazali na mogućnost zahvaćanja većih količina podzemne vode od postojećih.

Tijekom 1999. godine, a na temelju rezultata istraživanja, izvedena su dva zdenca NB 1 (Z-1) izdašnosti približno 18 l/s i NB-2 (Z-2) približne izdašnosti 13 l/s. U sušnim razdobljima, kad je potreba za vodom veća, izdašnost ovih bunara se znatno smanjuje.



Slika 1. Šire područje izvorišta i polja Blace (Integra, 2014)

Tijekom 2007. godine, a radi određivanja lokacije još jednog bunara, izvedena su dodatna geofizička ispitivanja na užem području ovog izvorišta čiji su rezultati ukazali na mogućnost izvedbe dubokog bunara i zahvaćanja podzemnih voda sa većih dubina nego je postignuto sa prethodna dva bunara (IGH, 2007). Tijekom 2012. i 2013. godine urađena je dokumentacija koja je sadržavala studiju, idejno rješenje i glavni projekt bunara B-3 dubine od oko 100 m. Bunar je izведен tijekom 2013. godine. Njegovim testiranjem utvrđene su eksploracijske mogućnosti bunara od oko 60 l/s u vrlo sušnim razdobljima (Antunović, 2012).

MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

Geofizička istraživanja

Tijekom 2007 godine su na širem području vodocrpilišta Blace obavljena geofizička istraživanja da bi se vidjela mogućnost zahvaćanja većih količina podzemne vode sa dubina nižih od 40 m. Ova istraživanja izveo je IGH d.d. Zagreb. Obavljena su metodom geoelektrične tomografije duž nekoliko profila i duž jednog profila metodom duboke seizmičke refleksije približno po trasi geoelektričnog profila LR B-1 (Slika 2). Na profilima geolektrične tomografije približno su locirani rasjedi i rasjedne zone do dubine od oko 80 m.

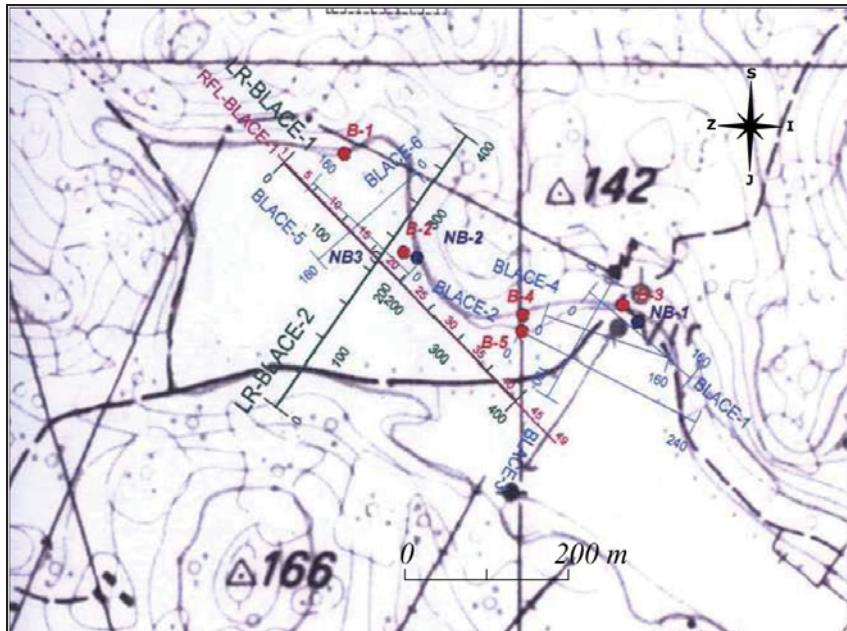
Međutim značajni rezultati dobiveni su na mjernom profilu duboke refleksije koji je zahvatio dubinu od oko 250 m. Raščlambu ovih rezultata obavili su dr. sc. Miroslav Andrić i Božo Padovan, dipl. ing. iz Zavoda za geotehniku IGH Zagreb (IGH, 2007).

Naznačeno je mogućno postojanje zona intenzivne razlomljenosti i kaverna sa pojmom podzemne vode na dubinama većim od 150 m. U zaključku ovih istraživanja predložena je izvedba istražne bušotine dubine do 130 m na lokaciji koja je ocijenjena kao povoljna (Slika 3).

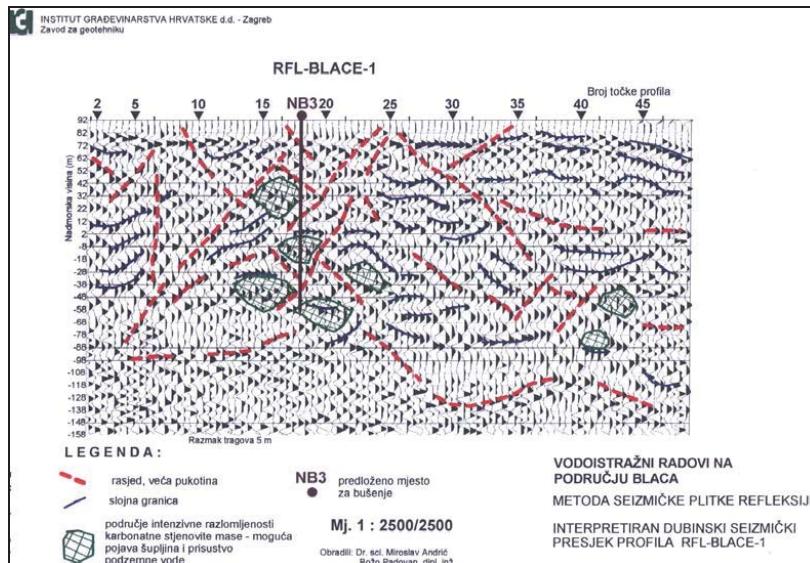
Nakon ovih rezultata refleksijske seizmike u Komunalnom poduzeću Neum je pokrenuta aktivnost za provedbu daljih istraživanja čiji rezultati bi trebali odgovoriti na četiri bitna pitanja:

- postoji li podzemni dotoci kojim bi se omogućio zahvat veće crpljene količine podzemne vode dubljim bunarima,

- postoji li utjecaj mora s obzirom na dubinu zahvata i relativno male udaljenosti morske obale,
- postoji li mogući utjecaj deponije otpada koja je od izvorišta udaljena oko 2,2 km i
- na kraju ako istraživanja pokažu pozitivne rezultate, provesti i mjere zaštite podzemnih voda ovog krškog izvorišta.



Slika 2. Položaj geofizičkih mjernih profila sa prijedlogom lokacije bušotine NB-3. Oznake LR su geoelektrični mjeri profili, a označke RFL je profil seizmičke duboke refleksije (IGH, 2007)



Slika 3. Obradeni rezultati ispitivanja dubokom seizmičkom refleksijom (IGH, 2007)

Na pitanje o količini mogućih podzemnih dotoka u područje vodozahvata Blace je moguće odgovoriti ako se prethodno odredi pozicija i površina slivnog područja podzemnih voda koje dotječe u područje Blaca, zatim poznавanja uvjeta prihranjivanja krškog vodonosnika, prostornog definiranja zone koncentracija podzemnih voda i zona podzemnih tečenja. Na temelju hidrogeološke bilance, koja zahtjeva i detaljniju obradu meteorološkim podataka, bi se procijenile količine podzemnih voda koje dotječe na ovo područje.

Radi utvrđivanja dotoka podzemne vode u zonu izvorišta obavljena su detaljna geološka i hidrogeološka istraživanja koja su obuhvatila prikupljanje postojeće dokumentacije, dodatno terensko kartiranje i detaljnija fotogeološka obrada ovog područja. Određene su geološke i hidrogeološke jedinice (Slika 4), strukturalna i razlomna tektonika i na temelju prikupljenih podataka izrađena je detaljnija geološka-hidrogeološka karta (Slika 5).

Rekonstrukcija pravaca okršavanja u podzemlju riješena je na temelju detaljnog zoniranja šireg područja mogućeg slica po parametru intenziteta okršenosti i raščlambe međusobne povezanosti okršavanja s geološkim i hidrogeološkim odnosima. Na temelju rekonstrukcije geoloških i hidrogeoloških odnosa u podzemlju i utvrđenih povezanosti s okršavanjem na površini terena, odredene su moguće zone koncentracija podzemnih voda u podzemlju i pravci podzemnog tečenja.

Obavljena su također i dva trasiranja podzemnih voda koja su, uz obradu rezultata ranije navedenih istraživanja, pomogla u definiranju hidrogeoloških razvodnica slica i tim pružila mogućnost izračuna hidrogeološke bilance podzemnih voda koje dotječe u područje izvorišta.

Podzemni tokovi

Na temelju navedenih raščlambi izdvojena su tri generalna pravca koncentracije i tečenja podzemnih voda.

- A. Najveća drenažna zona je iz pravca Grabovice kojom teku podzemne vode iz dijela masiva Bogač, masiva Vjenac i Debela gradina, kao i dijela masiva Moševske stijene. Drenaža se pruža nešto sjevernije od Moševića gdje drenira vode iz Gradine i Babina

- dola, protjeće kroz raskinutu flišnu barijeru kod Kiševa i duž velikog normalnog rasjeda se pruža prema izvorištu Blace.
- B. Drugi znatno manji drenažni pravac se pruža duž velikog rasjeda između Dračevica i Velike Batine i duž nekoliko velikih tektonskih lomova je usmjerena prema zapadnom dijelu polja Blace.
 - C. Treći drenažni pravac je i najkraći, nalazi se na krajnjem jugoistočnom dijelu sliva gdje drenira podzemne vode iz masiva Konštar i duž velikog rasjeda usmjerava podzemne vode prema izvorištu.

Prema rekonstrukciji strukturno geoloških i tektonskih odnosa prikazanih na hidrogeološkim profilima (Slika 6) cijelo područje između Duži i Žrnjeva je tektonski relativno spušteno, i to za debljinu cijele donje jure (J1) što iznosi preko 250 m. U tom dijelu terena prag dolomitne barijere je dosta dublje od razine mora, međutim vodonepropusna i vrlo debela flišna serija koja se nalazi između izvorišta i obale mora ima funkciju značajne hidrogeološke barijere koja je u razdobljima velikih voda uzrok značajnog izdizanja razine podzemnih voda u području polja Blace i njegovo plavljenje. Dio plavljenih voda ponire preko ponora sa jugozapadne strane flišne barijere koji se nalaze na jugozapadnom obodu polja Blace, a glavnina podzemnih voda se duž ove barijere usmjerava prema vrelima Kuti. Kako između vrela Kuti i izvorišta također postoje djelomično raskinute dolomitne barijere ograničene provodnosti, u razdoblju velikih voda neminovno dolazi do plavljenja polja Blace i samog izvorišta.

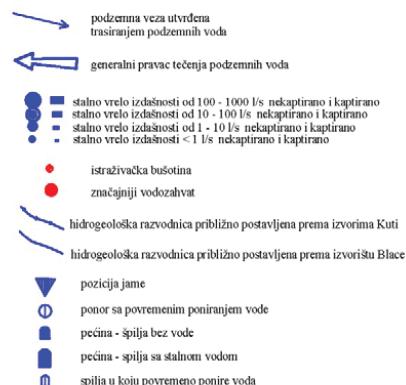
Granice slivnog područja

Granica slivnog područja se definira za razdoblje velikih voda. Ona je dosta jasna u pravcu juga gdje predstavlja kontakt okršenih vapnenaca i hidrogeološke barijere izgrađene od trijaskih dolomita i flišnih naslaga.

KAZALO HIDROGEOLOŠKE KARTE

STAROST	STRATIGRAFIČKA JEDINICA	DEBLJINA (m)	LITOLOŠKI OPIS	HIDROGEOLOŠKA FUNKCIJA U SKLOPU TERENA
PALEOGEN	Eocene	100	Pješčenjaci, lapori i konglomerati s tankim prošlojcima gline	Vrla slaba pukotinska poroznost i funkcija hidrogeološke bočne barijere
	Eocene	300	Debelo slojeviti vapnenci	
	Paleocene	250	Uslojeni vapnenci Pretežito bankoviti i masivni vapnenci	Isprekidana bočna hidrogeološka barijera
		250		
		580	srednje i debelo uslojeni vapnenci	Intenzivno okrseni vapnenci s jakom pukotinskom i kavernoznom poroznošću. Hidrogeološki kolektor s moćnim vodonosnikom i primarnim podzemnim tečenjem duž jačih tektonskih lomova
		500	Uslojeni vapnenci s rijedim prošlojcima dolomita i dolomitičnih vapnenaca	
		450	Vapnenci, dolomitični vapnenci i dolomiti u izmjeni	Karbonatne stijene s čestim litološkim izjenama. Imaju kavernoznu pukotinsku poroznost i srednju izdšnost. Kavernoznost je razvijena u zonama intenzivne tektonske oštećenosti stijene. Tečenje podzemnih voda skoncentrirano je u uže zone duž većih tektonskih lomova.
		500	Srednje i debelo uslojeni vapnenci	
		500	Debelo uslojeni i bankoviti vapnenci. Najniže razine ove serije su tankouslojeni i uslojeni dolomiti	Intenzivno okrseni vapnenci s jakom pukotinskom i kavernoznom poroznošću. Hidrogeološki kolektor s moćnim vodonosnikom i primarnim podzemnim tečenjem duž jačih tektonskih lomova
		350	Vapnenci i dolomiti u izmjeni	
		300	Srednje i debelo uslojeni vapnenci	Karbonatne stijene s čestim litološkim izjenama. Imaju kavernoznu pukotinsku poroznost i srednju izdšnost. Kavernoznost je razvijena u zonama intenzivne tektonske oštećenosti stijene. Tečenje podzemnih voda skoncentrirano je u uže zone duž većih tektonskih lomova.
		280	Ooltični debelo uslojeni vapnenci s rijedim prošlojcima dolomitičnih vapnenaca	Intenzivno okrseni vapnenci s jakom pukotinskom i kavernoznom poroznošću. Hidrogeološki kolektor s moćnim vodonosnikom i primarnim podzemnim tečenjem duž jačih tektonskih lomova
		250	Uslojeni vapnenci	
TRIJAS	Lijes Doger	320	Debelo uslojeni i masivni dolomiti	Dolomitne stijene vrlo slabe pukotinske poroznosti. U sklopu terena imaju prevladavajuću funkciju hidrogeološkog izolatora i djelomično raskinute hidrogeološke barijere
Gornji	T3			

HIDROGEOLOŠKE OZNAKE

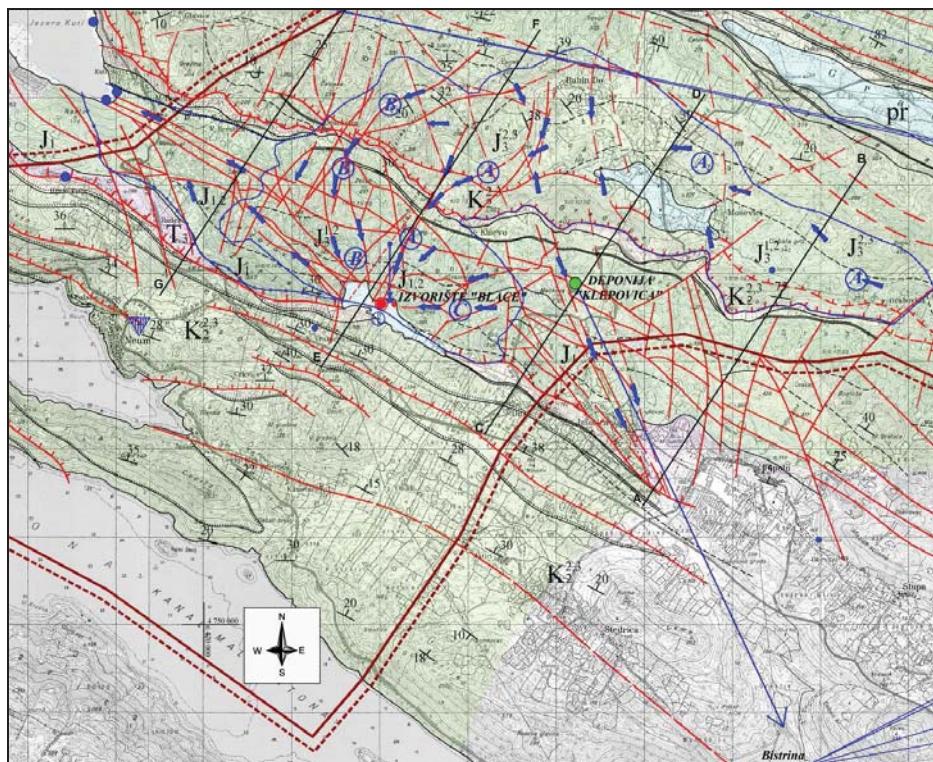


GEOLOŠKE OZNAKE

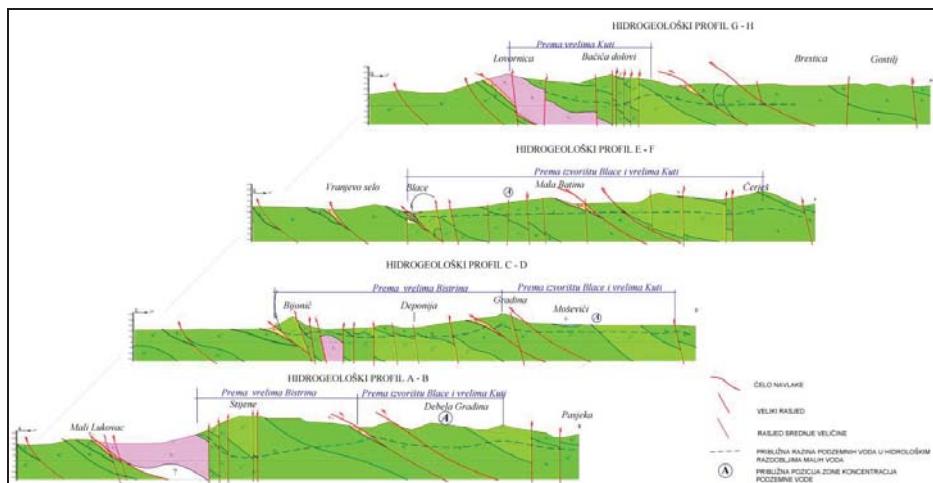


Slika 4. Kazalo hidrogeološke karte s prikazom geoloških i hidrogeoloških jedinica (Integra, 2014)

Na zapadnoj strani ona je dosta nesigurna, s obzirom na mogućnost stvaranje podzemne akumulacije i ograničene provodnosti prema izvorima Kuti. Pretpostavka je da dio voda koje dođe u ovaj dio sliva dijelom otjeće u pravcu izvora Kuti, a dijelom prema izvoruštu, odnosno polju Blace. Sa zapadne strane razvodnica je postavljena tako da obuhvati sve veće lomove za koje je procjena da omogućuju cirkulaciju podzemne vode prema izvoruštu.



Slika 5. Hidrogeološka karta sliva izvorišta Blace i vrela Kuti (Integra, 2014)



Slika 6. Hidrogeološki profili slivnog područja izvorišta Blace i vrela Kuti (Integra, 2014)

Flišne naslage se javljaju sjeveroistočno od izvorišta Blace i vrela Kuti, uz čelo navlake (između Dračevice i Kiševa) su dosta raskinute, poglavito oko Dračevice te između Kiševa i Male Batine s vrlo izraženim nizom velikih vrtača na površini terena, sjeverno i južno od ove barijere. Iz tog razloga se ova barijera na tom dijelu terena nije smatrala mogućom granicom sliva.

Prema sjeveru, razvodnicom se obuhvatilo najveće rasjede kao i zone s najintenzivnijim okršavanjem i pružanjem prema izvorишtu, uključujući i seriju uklještenih gornje krednih vapnenaca ($K_2^{2,3}$), te sjeverno od njih okršene naslage gornje jure ($J_3^{1,2}$ i $J_3^{2,3}$). Granica sliva je tu postavljena približno po morfološkoj razvodnici i pruža se istočno sve do područja Grabovice.

S južne strane u tom istočnom dijelu je flišna barijera dosta kompaktna, raskinuta je samo u blizini Moševića, međutim kako je ne prate zone s najintenzivnjim okršavanjem, smatra se da joj funkcija barijere nije narušena u tom dijelu terena. Od Moševića razvodnica je postavljena prema jugu obuhvaćajući masive Konštar i Kuk koji prema morfološkim i hidrogeološkim karakteristikama pripadaju slivu izvorišta. S južne strane razvodnica prati kontakt neokršenih dolomita i flišnih naslaga uz čelo velike navlake. (Slika 7).



Slika 7. Hidrogeološka barijera koju sačinjavaju flišne laporaste naslage uz čelo navlake visokog krša između izvorišta i morske obale (Integra, 2014)

Ukupna površina izdvojenog slivnog područja, a koja odgovara uvjetima velikih voda, je oko 14 km².

Za procjenu brzine tečenja podzemne vode unutar slivnog područja poslužili su rezultati obavljenog trasiranja podzemne vode, kao i rezultati trasiranja provedenih na širem području. S obzirom na mehanizam dinamike podzemnih voda, odnosno stvaranja uspora na širem području izvorišta, smatra se da je utvrđena brzina dobivena trasiranjem podzemne vode u granicama od 1 do 1,2 km/dan realna i reprezentativna za sliv izvorišta Blace.

Bilanca podzemnih voda

U bilanci podzemnih voda koje se pojavljuju na vrelu Blace, osim padalina, sudjeluju i količine nastale kondenzacijom u okrenutom podzemlju sliva. Određene anomalije u proračunu bilance unose i površine pokrivenog krša i oceđivanje voda iz glacijalnog pokrova. Sve to daje okvire približnih vrijednosti koje se proračunom bilance mogu dobiti.

Na temelju registriranih i obrađenih srednjih godišnjih i mjesečnih oborina za područje sliva i utvrđene površine od 14 km² moguće je dati približnu bilancu srednjih godišnjih voda na vrelu Blace (7. Integra, 2014).

Izračunata je hidrogeološka bilanca za sliv prema obrascu:

$$Q_{sr} = \frac{A_{sl} \cdot I \cdot C}{31,5 \cdot 10^{-6}}$$

gdje su: Q_{sr} = računati srednji protok;
 A_{sl} = utvrđena površina sliva (14 km^2);
 C = srednji koeficijent infiltracije (0,7);
 I = srednje godišnje oborine (1260 l/m^2).

Izračunom se dobiju srednji godišnji protok od:

$$Q_{sr} \sim 390 \text{ l/s.}$$

Ovaj podatak se približno uklapa u procijenjene vrijednosti izdašnosti vrela Kut (literaturni podaci govore da je srednja izdašnost veća od 500 l/s) prema kojem teku podzemne vode sa ovog slivnog područja. Ako se prihvati da uobičajeni odnos srednjih i malih voda iznosi do 4:1, na izvorištu Blace se u razdoblju malih voda mogu očekivati količine veće od 100 l/s .

REZULTATI I RASPRAVA

Mogući utjecaj deponije

Mogući utjecaj deponije otpada koja se nalazi oko $2,2 \text{ km}$ istočno od izvorišta je procijenjen na temelju :

- detaljne rekonstrukcije hidrogeoloških odnosa u podzemlju između izvorišta i deponije,
- trasiranjem podzemnih voda sa krajnjeg zapadnog ruba deponije i
- analizama kakvoće podzemne vode.

U širem području deponije je izuzetno razvijena razlomna tektonika u kojoj dominiraju vrlo veliki rasjedi pružanja u pravcu jugoistoka s velikim vertikalnim smicanjem blokova. Ovim rasjedima raskinuta je, ne samo flišna, nego i dolomitna barijera. Ovakav hidrogeološki sklop ukazuje na mogućnost podzemnog tečenja u pravcu izvora Bistrina (Slika 5).

Obavljeno je i jedno trasiranje podzemnih voda na krajnjem zapadnom dijelu deponije (bliže izvorištu Blace) kojim je utvrđena podzemna veza s izvorima Bistrina (Integra, 2014).

Obavljena je detaljna raščlamba velikog broja kvalitativnih analiza podzemne vode, a koje obuhvačaju velike i male vode, iz kojih je vidljivo da kakvoća podzemnih voda ne izlazi ni po jednom parametru iz prosjeka krških voda. Iz svega je ocijenjeno da deponija otpada na izvorište Blace nema utjecaja, odnosno da se deponija nalazi izvan slivnog područja izvorišta.

Istraživačko bušenje

Prema navedenim konstatacijama iz ovih studijskih istraživanja, odlučeno je prići izvedbi dubokih istražnih bušotina i eksploracijskog bunara.

Na približnoj lokaciji, predloženoj nakon provedenih geofizičkih ispitivanja, izvedena je istraživačka bušotina do dubine od 93 m , koja je nakon konstatacije o značajnim dotocima podzemne vode, proširena i izvedena kao eksploracijski bunar. Testiranje izvedenog dubokog bunara pokazala su njegovu izdašnost od oko 60 l/s za razdoblje vrlo malih voda.

Kvalitativna ispitivanja pokazala su vrlo visoku kakvoću podzemne vode u kojoj nema pokazatelja utjecaja mora niti deponije otpada (Integra, 2014).

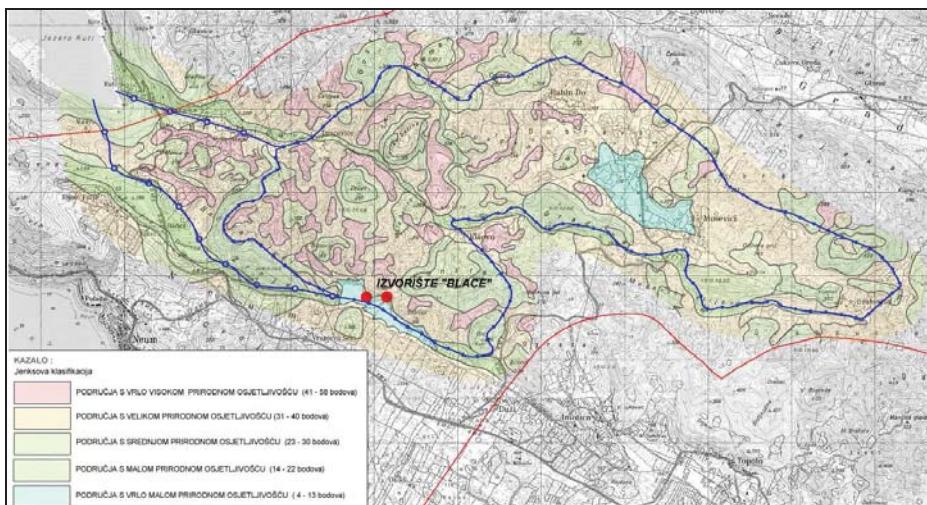
Zaštita podzemnih voda izvorišta

Navedene podloge, rezultati dodatnih terenskih i fotogeoloških istraživanja, te rezultati testiranja izvedbenog eksploracijskog bunara omogućili su da se odredi ranjivosti ovog krškog sliva i obavi zoniranje po tom parametru (Slika 8).

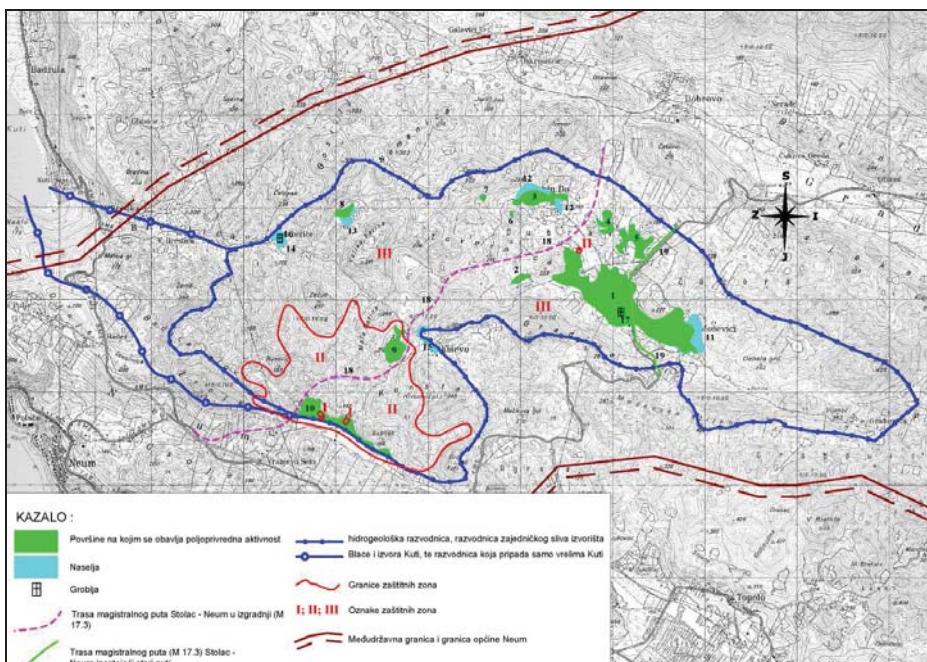
Na slivnom području nema industrijskih pogona i ozbiljnijih potencijalnih zagađivača koji bi ozbiljno ugrozili kakvoću podzemnih voda. Jedini ozbiljniji potencijalni zagađivači su dva magistralna puta prema Neumu, otpadne vode lokalnih zaseoka i nekoliko manjih poljoprivrednih površina.

Tehnička rješenja novog magistralnog puta u velikoj mjeri uvažavaju potrebu za zaštitom podzemnih voda krškog vodonosnika preko kojeg prolaze. Snimljeni su svi potencijalni onečišćivači podzemnih voda, utvrđen je ukupan rizik od mogućeg njihovog zagađenja i utvrđene zone zaštite. (Slika 9).

Izrađen je i načrt Odluke koja je u redovnom postupku usvojena od strane općinskih struktura grada Neuma.



Slika 8. Karta prirodne ranjivosti sliva izvorišta Blace (Integra, 2014)



Slika 9. Katastar onečišćivača i zone zaštite na slivu izvorišta Blace (Integra, 2014)

ZAKLJUČAK

Uloga krških voda osobito je značajna za vodoopskrbu stanovništva, poglavito u predjelima koji su na površini deficitarni s vodnim resursima. Hidrogeološke značajke krškog područja omogućuju vrlo brzu komunikaciju zagadenja sa površine terena i podzemnih voda u vodonosniku. Zbog toga su krški slivovi vrlo osjetljivi na unos zagadenja u krški vodonosnik, a velika količina pitke vode se može onečistiti u kratkom vremenu. Stoga je potreba za zaštitom tih resursa iznimna. Budući da je voda nezamjenjiv čimbenik života i mnogobrojnih aktivnosti, ovoj problematici potrebno je ukazati osobitu pozornost. Put od utvrđivanja eksploracijskih zaliha podzemnih voda do utvrđivanja njihove zaštite treba biti blagovremen, sustavan i otvoren za suvremene multidisciplinarnе metode istraživanja.

Primjer zorne primjene navedenih zahtjeva su svakako istraživanja i zaštita podzemnih voda izvorišta Blace, koji gradu Neumu može za dugo vremensko razdoblje riješiti vodoopskrbne poteškoće.

LITERATURA

- Antunović, I.: Hidrogeološka istraživanja na slivnom području izvorišta Blace, Interna studija, Neum, 2012.
- Geologija krša i odgovarajućih ekosustava. IGCP Projekt 448, UNESCO, 2000-2004.
- Globalna studija krških vodonosnika i vodnih resursa. IGCP-513 Projekt UNESCO-a. 2005-2009.
- IGH Zavod za geotehniku Zagreb: Geofizička ispitivanja na širem području izvorišta Blace kod Neuma, Zagreb 2007.
- Institut za elektroprivredu i energetiku d.d.: "Analiza utjecaja gradnje PHE Čapljina na izdašnost izvora u donji tok rijeke Neretve, Zagreb 2008.
- Integra d.o.o. Mostar : Elaborat zaštite izvorišta Blace, 2014.
- JP ELEKTROPRIVREDA HZ HB d.o.o. Mostar; Gospodarenje vodama sustava CHE Čapljina u razdoblju 1992 - 2002, Mostar 2003.
- Osnovna geološka karta – listovi Metković i Ston 1:100 000.
- "Projekt" Banja Luka : Studija uticaja projekta HE Dabar na životnu sredinu, Banja Luka 2012.
- Ranjivost, mapiranje za zaštitu karbonatnih vodonosnika. COST Action 620. EU 1997 - 2003.
- Razvoj metodologije za zaštitu podzemnih voda u krškim područjima. Primjena na vodonosnicima u južnoj Španjolskoj. REN 2002-01797 Projekt D GICYT. 2002- 2005.

ZAŠTITA PODZEMNIH VODA IZVORIŠTA VODOOPSKRBNOG SUSTAVA ŠIROKOG BRIJEGA

Ivan Antunović, Danijela Ljubić

Integra d.o.o. Mostar, Dr. Ante Starčevića bb, 88 000 Mostar, BiH

SAŽETAK

U posljednjih dvadesetak godina u svijetu se vrlo ozbiljno provode aktivnosti zaštite kvalitete i količina podzemnih voda, potaknute direktivom "EU Water Frame Directives" koja je donesena 23. listopada 2000. godine. Značajne aktivnosti s pozitivnim rezultatima na održanju i unapređenju vodnog okoliša, obavljene su kroz COST projekt 620 pod naslovom "Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers", koji je započeo još 1996. godine. Na ovom projektu su radili stručnjaci interdisciplinarnog profila: hidrogeolozi, geomorfolozi, okolišni kemičari i mikrobiolozi, specijalisti za područje istraživanja krških područja. Rezultat zajedničkog rada je bila izrada Europskog pristupa kartiranja prirodne ranjivosti, hazarda i analize rizika. Iskustva iz tog projekta, koja su dijelom uskladjena s iskustvima u istraživanju krša u našim krajevima, uspješno su primjenjena u više projekata zaštite podzemnih voda izvorišta u području Hercegovine i šire. Primjena ovih suvremenih metoda istraživanja krša i zaštite podzemnih voda je u ovom radu prikazana kroz primjer zaštite izvorišta "Vrelo Lištice" kao osnovnog izvorišta vodoopskrbnog sustava Široki Brijeg i šire. U radu će biti u kratkim crtama prezentirane suvremene metode definiranja bitnih parametara sliva kao što su hidrogeološke razvodnice, približna pozicija podzemnih tokova i pravci podzemnog tečenja, a na temelju rezultata hidroloških, meteoroloških i kvalitativnih praćenja je provedena i kalibracija definiranog sliva. Unutar određenih hidrogeoloških razvodnica sliva u radu će biti prezentirane metode utvrđivanja specifične ranjivosti, a u skladu s urađenim katastrom onečišćivača i procjena ukupnog rizika od zagadivanja podzemnih voda ovog krškog sliva. Na ovaj način prikupljene su potrebne informacije za uspostavu normativnih i tehničkih mjera zaštite, a koje su propisane Zakonom o vodama i Pravilnikom o načinu utvrđivanja zona sanitарne zaštite i zaštitnih mjera za izvorišta za javno vodosnabdjevanje stanovništva («Službene novine Federacije B i H», broj: 88/12 od 17. 10. 2012. godine).

Ključne riječi: izvorište; razvodnice; specifična ranjivost; ukupan rizik; katastar zagađivača

UVOD

Iзвориште Vrelo Lištice se nalazi u neposrednoj blizini Širokog Brijega na izlazu iz kanjona Brinja. Pojavljuje se kao dva vrela: vrelo Lištice i Bilo vrilo (Slike 1 i 2), koja su međusobno udaljena manje od 100 m. Slivno područje ovog izvorišta obuhvaća prostor oko 200 km^2 i pruža se u pravcu sjeverozapada do udaljenosti oko 27 km. Kako je predviđeno da ovo izvorište bude u sustavu regionalnog vodoopskrbnog sustava, prišlo se blagovremenoj zaštiti podzemnih voda ovog izvorišta.

Zaštita podzemnih voda izvorišta u kršu je regulirana određenim propisima i zakonima u svim zemljama Europe i većini zemalja svijeta. U Federaciji BiH zaštita je regulirana Zakonom o vodama i "Pravilnikom o načinu utvrđivanja zona sanitarnе заštite i zaštitnih mjera za izvorišta za javno vodosnabdjevanje stanovništva" («Službene novine Federacije B i H», broj: 88/12 od 17. 10. 2012. godine). Svi ovi pravni akti definiraju manje više što elaborati o zaštiti izvorišta trebaju da sadrže, međutim ne i kako doći do njih. To je problem strike i ona ga danas rješava suvremenom metodologijom koja se obično djelomično prilagođava uvjetima svakog sliva.



Slika 1. Vrelo Lištice



Slika 2. Bilo vrilo

SUVREMENI PRISTUP ZAŠTITE PODZEMNIH VODA U KRŠU

Zaštita podzemnih voda u kršu je izrazito složen problem. Krški slivovi izvorišta se prostiru na relativno velikim prostorima, a zbog velikih infiltracijskih mogućnosti, velikih brzina tečenja kroz nesaturiranu zonu (približno vertikalno tečenje) i turbulentnog tečenja kroz vrlo zamršen sustav podzemnih tokova, ti prostori su vrlo osjetljivi na mogućnosti onečišćenja podzemnih voda. Osnovni pristup zaštiti podzemnih voda u kršu obuhvaća utvrđivanje prirodne ranjivosti, određivanje hazarda i analizu rizika.

Utvrđivanje prirodne ranjivosti je najteži dio ovog pristupa. Koraci u realizaciji ovog dijela problema se moraju prilagoditi svakom istraživanom slivnom području. Prema iskustvima provedenim na više krških slivova u području Hercegovine i Dalmacije, moraju se obaviti istraživanja čiji rezultati trebaju omogućiti izradu geoloških, hidrogeoloških, geomorfoloških i drugih potrebnih karata na temelju kojih treba odrediti uvjete infiltracije statističkom obradom hidrogeoloških podataka i krških pojava na površini. Navedene obrade trebaju omogućiti rekonstrukciju okršavanja u podzemlju, koncentracije podzemnih voda i temeljnih podzemnih tokova te odrediti brzine njihovog tečenja. Unutar postupka određivanje prirodne ranjivosti, u nekim projektima EU uvodi se i pojam specifične ranjivosti. To su dugotrajna istraživanja koja se u svijetu provode na nekoliko velikih krških slivova, a sastoje se u definiranju mogućih smanjenja onečišćenja zbog međusobnog utjecaja stjenovite mase vodonosnika i vrste samog onečišćenja.

Hazard je opće prihvaćen izraz za potencijalne onečišćivače antropogenog porijekla, uglavnom s površine terena. Njegova realizacija se sastoji od definiranja hazarda, prikupljanja podataka o hazardu, rangiranja i procjene težine hazarda te grafičkog prikaza na odgovarajućim kartama.

Analiza rizika obuhvaća izračun indeksa rizika i ukupnog rizika.

ODREĐIVANJE PRIRODNE RANJIVOSTI KRŠKOG VODONOSNIKA

Utvrđivanje prirodne ranjivosti krškog vodonosnika je vrlo zahtjevan i složen problem i zahtjeva provedbu dosta obimnih istraživačkih radova čiji rezultati trebaju dovoljno pouzdano odrediti geološke i hidrogeološke značajke stjenovitih masa vodonosnika, a posebno značajke pokrovног tla, granice slivnog područja i uvjete prihranjivanja podzemnih voda u krškom vodonosniku. Potrebno je odrediti zone koncentracije podzemnih voda i pravce podzemnog tečenja, utvrditi prividnu brzinu podzemnog tečenja i hidrogeološkom bilancem podzemnih voda izvršiti kalibraciju definiranog sliva na temelju hidroloških i meteoroloških praćenja.

Uobičajeno je da se za veće krške slivove prikupe podaci o vegetaciji i erozivni procesi na površini sliva.

GEOLOŠKA I HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

Geološka istraživanja

Za određivanje granica krških slivova koriste se prije svih brojni geološki podaci o stratigrafskim jedinicama, njihovoj litološkoj građi i što je moguće više podataka o strukturnim oblicima i razlomnoj tektonici. Za ovo je potrebo s površine terena prikupiti veliki broj podataka kako bi se dovoljno pouzdano mogla načiniti kvalitetna rekonstrukcija geoloških odnosa u podzemlju. Rekonstrukcija geoloških odnosa u podzemlju predstavlja osnovu za hidrogeološku interpretaciju, rekonstrukciju okršavanja i zona koncentracije podzemnih voda.

Na slivnom području izvorišta "Vrelo Lištice" obavljena su dosta detaljna geološka istraživanja koja su obuhvatila terenska i fotogeološka mjerena. Utvrđene bitne litostratigrafske značajke istraživačkog prostora su prikazane na kazalu geološke-hidrogeološke karte (Slika 2).

Geomorfološka istraživanja

Najveći dio istraživanog terena ima izrazite krške značajke. Izdvojeno je nekoliko znakovitih zona:

- neokršene zone,
- područja slabe, rijetko srednje krševitosti,
- područja intenzivno razvijenog krša i
- zona beginjavog krša.

Hidrogeološka istraživanja

Hidrogeološka interpretacija geoloških odnosa je vrlo zahtjevan dio obrade u postupku definiranja prirodne ranjivosti sliva. To je kompleksna raščlamba geološko - litoloških jedinica, strukturnih i tektonskih pojava, njihove pozicije u slivu te povezanosti s zonama intenziteta okršenosti.

Na temelju navedenih obrada, među kojim su dosta pogodne različite statističke obrade, za svaki sлив treba tražiti međusobnu povezanost koja bi se mogla koristiti za rekonstrukciju okršavanja u podzemlju.

Na slivu vrela Lištice, kao i na većini slivova na području Hercegovine, terenskim kartiranjem je registrirana jača okršenost međuslojnih diskontinuiteta. Pokazalo se da pravci razvoja okršavanja u podzemlju, pogotovo u vapnencima s proslojcima dolomita, u velikoj mjeri podudaraju sa smjerom pada struktura i da se po pravilu u zoni jezgri sinklinala i većih rasjeda, odnosno u njihovoj blizini pojavljuju zone koncentracije podzemnih voda. Na temelju uočenih povezanosti navedenih odnosa, za slivno područje vrela Lištice je izvršena rekonstrukcija razvoja okršavanja u podzemlju, što je omogućilo približno određivanje razvodnica, pozicije koncentracije podzemnih voda i podzemnih tokova.

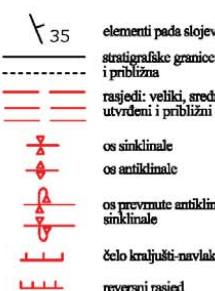
Prihranjivanje podzemnih voda krškog vodonosnika obuhvaća sve doteke voda s površine terena. Za potrebu definiranja zaštite podzemnih voda ovaj podatak je bitan jer definira uvjete unosa zagađivača u podzemlje. Ovim je moguće problem zaštite usmjeriti na pravo mjesto i primjeniti učinkovite mjere zaštite.

Prihranjivanje krškog vodonosnika vrela Lištice je infiltracijom oborinskih voda i poniranjem stalnih i povremenih tokova preko ponora i ponorskih zona. Neznatan dio (oko 200 l/s) može nastati uslijed kondenzacije u prostoru pukotina i kaverni u podzemlju. U razdobljima srednjih i velikih voda je vrlo značajno prihranjivanje krškog vodonosnika vrela Lištice preko ponora i ponorskih zona u zoni povremenih tokova. Posebno je to izraženo u koritu Ugrovače, koja obiluje ponorima, ponorskim zonama i otvornim kavernama (Integra,2015).

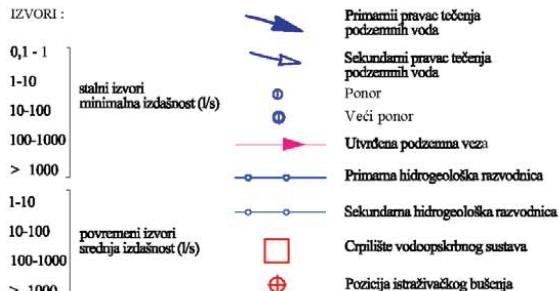
KAZALO HIDROGEOLOŠKE KARTE

Starost		LITOLOŠKI OPIS	HIDROGEOLOŠKA FUNKCIJA
Kvartar	Graficki prikaz		
		Vapnenačka drobina sa crvenicom Šljumak i pješak svih granulacija Latori, gline, pješak s lignitom	Slaba međuzemska poroznost, funkcija krovinskog izolatora Srednja do dobra međuzemska poroznost, hidrogeološki kolektor Vrlo slaba pukotinska poroznost. Ima funkciju hidrogeološke bočne barijere
		320 Bijeli latori	
		350 Latori i laporoviti vaspenci	
		50 Gline i latori s ugljem	
		900 Debelo uslojeni konglomerati, pješenjaci i latori (Promina naslage)	Stjenovite mase sa srednje razvijenom pukotinskom poroznošću. U sklopu terena je vodonosnik sa malim brzinama tečenja podzemnih voda
		440 Fliš: pješenjaci, latori i konglomerati	
		420 Debelo i tanko uslojeni vaspenci	
		200 Debelo uslojeni vaspenci	
		500 Vaspenci i prosljoci dolomita	Intenzivno okršeni vaspenci s jakom pukotinskom i kavernoznom poroznošću. Hidrogeološki kolektor sa jačim podzemnim tečenjem duž tektonskih lomova.
		Vaspenci i prosljoci dolomita	
		600 Pločasti vaspenci	
		360 Dolomiti, dolomitični vaspenci, vaspenci i brečasti vaspenci	Karbonatne stijene s litološkim promjenama. Kavernoza i pukotinska poroznost. Kaverne su razvijene u zonama intenzivne tektonske oštećenosti stijene. Tečenje podzemnih voda je u zoni većih tektonskih lomova.
		500 Debelo i tanko uslojeni vaspenci i tanki prosljoci dolomita	
		550 Masivni dolomiti s ulošćima vaspenaca	Slaba pukotinska poroznost. Pojava velikih kaverni je samo u zonama intenzivne tektonske oštećenosti.
		Vaspenci i masivni dolomiti	
		880 Uslojeni grudvasti vaspenci	Intenzivno okršeni vaspenci s jakom pukotinskom i kavernoznom poroznošću. Hidrogeološki kolektor sa jačim podzemnim tečenjem duž tektonskih lomova.
		460 Grudvasti laporoviti vaspenci i prosljoci dolomita	
		350 Uslojeni vaspenci i prosljoci dolomita	Karbonatne stijene s litološkim promjenama. Kavernoza i pukotinska poroznost. Kaverne su razvijene u zonama intenzivne tektonske oštećenosti stijene. Tečenje podzemnih voda je u zoni većih tektonskih lomova.
		250 Masivni dolomiti s prosljocima vaspenaca	Slaba pukotinska poroznost. Pojava velikih kaverni je samo u zonama intenzivne tektonske oštećenosti

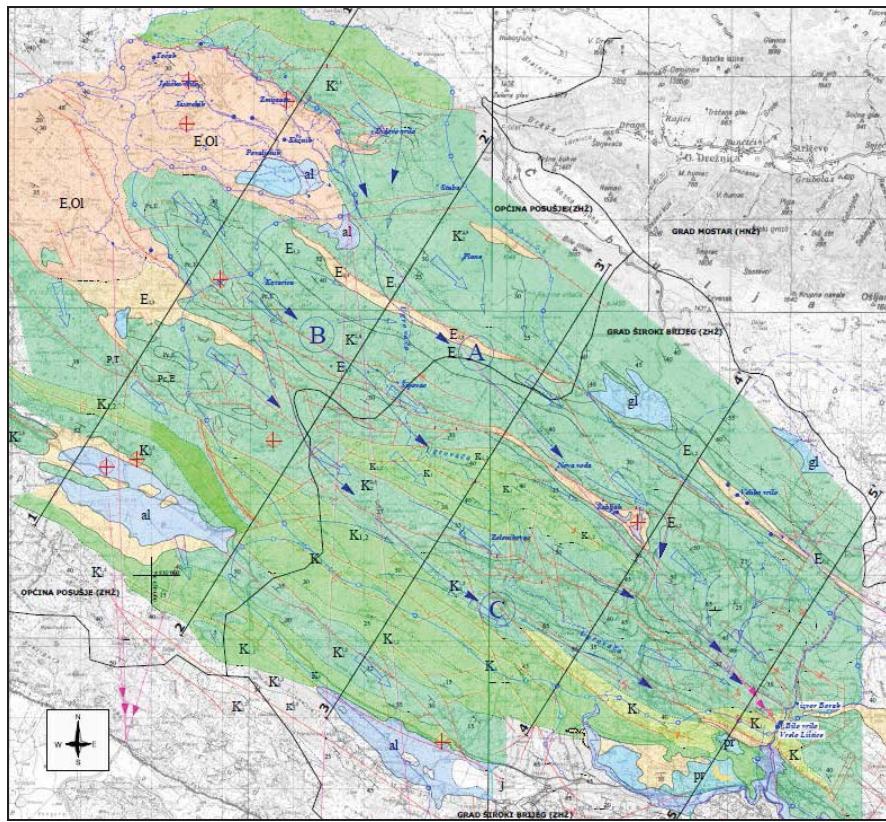
GEOLOŠKE OZNAKE



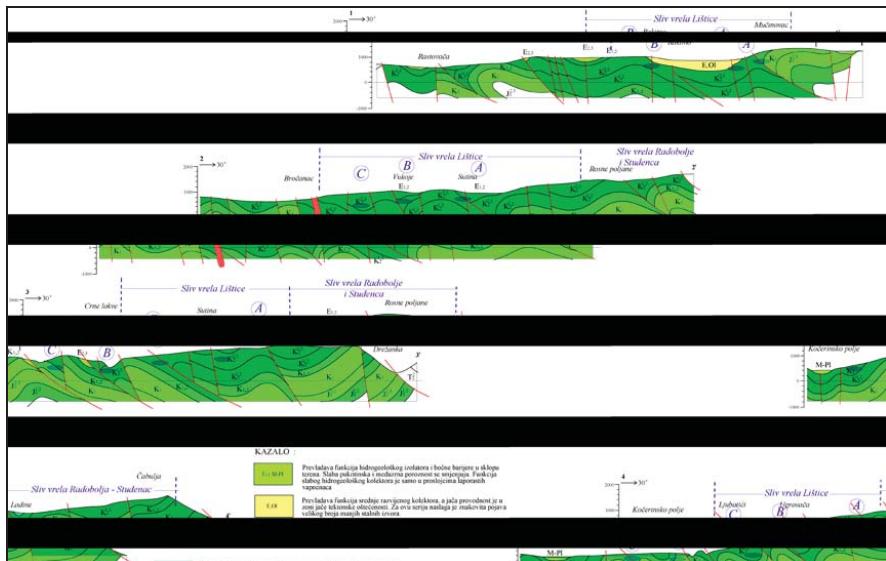
HIDROGEOLOŠKE OZNAKE



Slika 3. Kazalo hidrogeološke karte s prikazom geološke i hidrogeološke građe terena (Integra,2015)



Slika 4. Hidrogeološka karta sliva vrela Lištice (kazalo je na slici 3) (Integra, 2015)



Slika 5. Hidrogeološki presjeci s prikazom hidrogeoloških razvodnica i zona koncentracije podzemne vode (Integra, 2015)

Koncentracija podzemnih voda i podzemni tokovi

Određivanje pozicije podzemnih tokova i pravaca podzemnog tečenja donosi se na temelju prethodno obavljene rekonstrukcije okršavanja u podzemlju. Ovaj dio zadatka zahtjeva dosta znanja i iskustva u istraživanju krša. Ovom složenom raščlambom se uglavnom predviđaju zone podzemnog tečenja koje se trasiranjem podzemnih voda u određenoj mjeri mogu potvrditi.

U slivu vrela Lištice su na temelju svih ranijih obrada i raščlambi rekonstruirane tri zone dominantnih pravaca, označenih kao "A", "B" i "C". Prikazani su i približni pravci sekundarnih podzemnih tokova. (Slike 4 i 5)

Brzina podzemnog otjecanja

Poznavanje brzine podzemnog tečenja je jedan od vrlo važnih podataka u određivanju granica zona zaštite. U većini zakonske regulative u svijetu ovo je samo jedan od parametara u određivanju granica zaštitnih zona. Određivanje brzine podzemnog tečenja se obavlja trasiranjem podzemnih voda preko značajnijih ponora. Na širem području mogućeg sliva vrela Lištice su obavljena tri trasiranja, preko Markovača ponora, ponora u Izbičnu i ponora u Dobrinjskoj dragi. Prva dva su pokazala povezanost s vrelom Lištice, a trasiranje u Dobrinjskoj dragi je pokazalo dobru povezanost s vrelima Radobolje i Studenca (7Antunović I., Ljubić D., 2014). Registrirana prividna brzina podzemnog tečenja se kreće oko jedan kilometar na dan kod trasiranja u Izbičnu.

Iz navedene obrade se zaključilo da srednja brzina na slivu vrela Lištice nije veća 1,8 km/dan.

Kalibracija sliva

Da bi se načinila kalibracija sliva potrebno je prikupiti rezultate provedenih hidroloških mjerjenja protoke na izlazima sliva (izvorištima) i rezultate meteoroloških praćenja iz kojih bi se dobila jasna slika o oborinama na određenom sливном подручју. Iz prikupljenih rezultata meteoroloških praćenja, površine sliva i procijenjenih srednjih vrijednosti koeficijenta infiltracije računa se bilanca srednjih godišnjih voda. Izračunate bilančne vrijednosti se uspoređuju s rezultatima stvarnih mjerjenja te na temelju njihove podudarnosti donosi zaključak o pouzdanosti hidrogeološki definiranog sliva.

Za kalibraciju sliva vrela Lištice detaljno su obrađeni podaci o nizu protoka i oborina za razdoblje od deset godina. Prosječne godišnje vrijednosti mjerene protoke na vrelu Lištice i Bilom vrilu, uključujući i količine koje se koriste za navodnjavanje i vodoopskrbu iznose oko $9,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Srednje oborine za mjereni niz od deset godina su 1750 l/m^2 . Izračunata je hidrogeološka bilanca za sliv vrela Lištice prema obrascu:

$$Q_{sr} = \frac{A_{sl} \cdot I \cdot C}{31,5 \cdot 10^{-6}}$$

gdje su:
Qsr = računati srednji protok;
Asl = utvrđena površina sliva (205 km^2);
C = srednji koeficijent infiltracije (0,75);
I = srednje godišnje oborine (1750 l/m^2).

Izračunom se dobiju srednji godišnji protok od:

$$Q_{sr} = 8,5 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Kad se ovim količinama doda i doprinos bujičnih voda s područja "D" (Ladine - Bogodol) i količina koje nastaju kondenzacijom u podzemlju, dobije se vrijednost od oko $9 \text{ m}^3/\text{s}$, koja je vrlo bliska mjerenim srednjim godišnjim protocima. Ovaj proračun bilančnih količina je ujedno i kalibracija hidrogeološki definiranog sliva koja pokazuje da su definirane granice sliva dobro odredene.

KAKVOĆA PODZEMNIH VODA

U postupku zaštite podzemnih voda krških vodonosnika su neizostavna ispitivanja kakvoće podzemnih voda. Po pravilu se ona prate na ulazima i izlazu iz sliva. Osim što definiraju postojeće stanje kakvoće podzemnih voda i upućuju na moguća žarišta onečišćenja, ova ispitivanja pružaju i odredene informacije o autopurifikaciji podzemne vode tijekom njenog tečenja kroz podzemlje, a mogu dosta dobro ukazati i na geokemijske i mineraloške značajke vodonosnika.

Fizikalno - kemijske analize su pokazale da vode vrela Lištice pripadaju skupini voda znakovitih za većinu krških vrela. One imaju relativno manji sadržaj otopljenih soli, a sadržaj im se mijenja zavisno od veličine protoka.

Zanimljivi su podaci o sadržaju sulfata u podzemnoj vodi. Sadržaj sulfata znatno se povećava sa smanjenjem protoka na vrelu. Posljedica je svakako kontakta podzemnih voda sa stijenama u podzemlju koje u sebi sadrže sulfate (gips, anhidrit), a koje su registrirane na širem području Bročanca, a što svakako upućuje na podzemne dotoke iz tog područja.

Bakteriološke analize ovih uzoraka pokazuju postojanje bakterioloških zagađenja koja su ubičajena za krške podzemne vode i uspješno se saniraju dezinfekcijom vode na mjestu vodozahvata.

PROCJENA STUPNJA UGROŽENOSTI PODZEMNIH VODA IZVORIŠTA

Suvremene metode zaštite podzemnih voda u krškom podzemlju podrazumijevaju dvije temeljne značajke :

- utvrditi prirodnu ranjivost i
- indeks ukupnog rizika.

Postoji više metoda izrade karata prirodne ranjivosti krškog hidrogeološkog kolektora. Sve te metode imaju zadaću da na krškom slivnom području izdvoje tri do pet zona prirodne osjetljivosti.

Za sliv Lištice korišten je prilagođeni Europski pristup zaštiti krških vodonosnika, obrađen u COST 620 projektu (COST 620, EU 1997 – 2003). Ovaj prilagođeni pristup koristi podatke iz ranije opisanih istraživanja i obuhvaća rangiranje hidrogeoloških značajki, stupanj okršenosti površine terena, zone podzemnih tečenja, nagib terena i oborine. Prema ovom pristupu je izrađena karta prirodne osjetljivosti prikazana na slici 6.

U projektu COST 620 koristi se i pojam specifične ranjivosti. Ona se temelji na principu da se dodatni modul integrira prirodnoj ranjivosti, te dodaje modul koji bi mogao umanjiti prirodnu osjetljivost vodonosnika. Ona u suštini uvodi mogućnost smanjenja pojedinih serija stjenovitih masa na smanjenje pojedinih onečišćivača. Na žalost za procjenu specifične osjetljivosti vodonosnika je potreban veliki broj vrlo kompleksnih i dugotrajnih geokemijskih istraživanja koja u konačnici mogu dati vrlo male promjene, te se u ovom slučaju teško mogu ekonomski i vremenski opravdati.

IZRADA KATASTRA ONEČIŠĆIVAČA

Pojam „hazard“ se u postupku zaštite krških podzemnih voda prihvatio i predstavlja potencijalne onečišćivače antropogenog porijekla, uglavnom s površine terena. U postupku realizacije ove zadaće potrebno je za određeni krški sliv točno definirati što su potencijalni onečišćivači, prikupiti o njima podatke, izvršiti njihovo rangiranje, grafički ih prikazati i uključiti ih u postupak procjene ukupnog rizika od onečišćenja. Za sliv vrela Lištice katastar potencijalnih onečišćivača je prikazan na slici 7. Za prikupljene informacije o onečišćivačima potrebno je prvo odrediti tzv. indeks težine hazarda.

Izračun težine hazarda (HI) označava stupanj opasnosti svakog hazarda prema obrascu:

$$HI = H \cdot Qn \cdot Rf$$

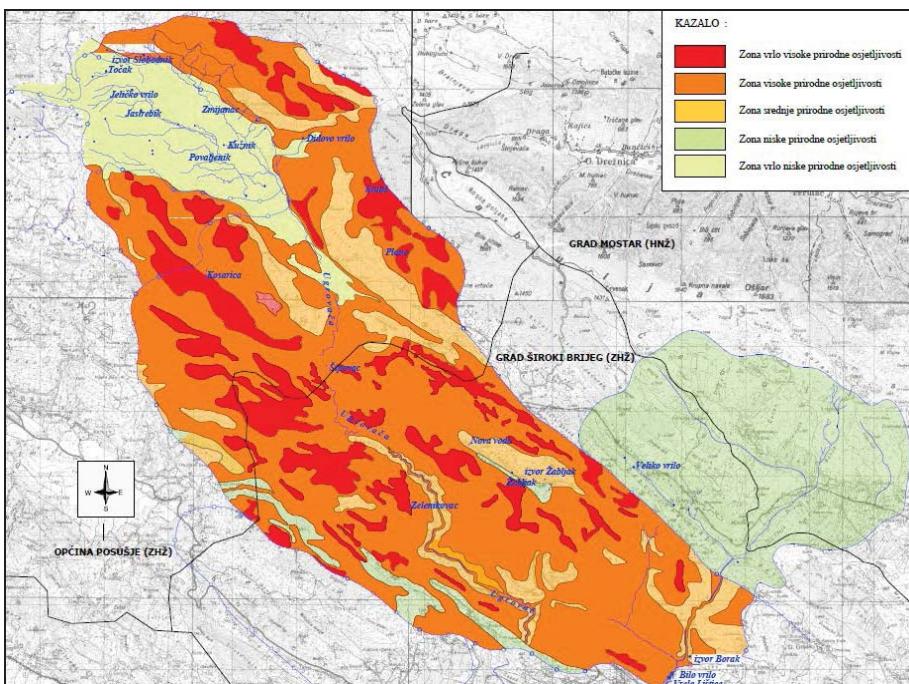
gdje su: HI - indeks hazarda;

H - težinska vrijednost svakog hazarda se određuje prema tabličnim podacima kojim su obuhvaćene infrastrukture, industrijska aktivnost te stočarstvo i poljoprivreda;

Qn - faktor rangiranja – rang toksičnosti (0,8 - 1 - 1,2);

Rf - faktor redukcije (0 - 1).

Moguće stupnjevanje indeksa hazarda je od 0 do 120 poena. Rizikom od onečišćenja smatra se mogućnost zagađenja podzemne vode u vodonosniku uslijed neprihvatljivih aktivnosti na površini terena u zoni utjecaja na vodonosnik.



Slika 6. Karta prirodne ranjivosti sliva vrela Lišnice (Integra,2015)

Takov pristup koristi interakciju onečišćenja i prirodne ranjivosti vodonosnika na određenoj lokaciji. Sličan se pristup koristi i u COST 620 projektu (REN 2002-01797, 2002- 2005) za jedno od pilot područja (Španjolska) gdje je intenzitet rizika (RII) riješen relativno jednostavnom jednadžbom):

$$RII = \frac{1}{HI \cdot \pi}$$

gdje su: RII - Indeks intenziteta rizika;

HI - Indeks hazarda;

π - Indeks prirodne ranjivosti ($P \cdot I$) ($P = 1$ do 5).

Prema iskustvima stečenim u COST 620 projektu, za ocjenu ukupnog rizika od onečišćenja podzemnih voda u kršu se smatra najpogodnijom klasifikacija (COST 620, EU 1997 – 2003):

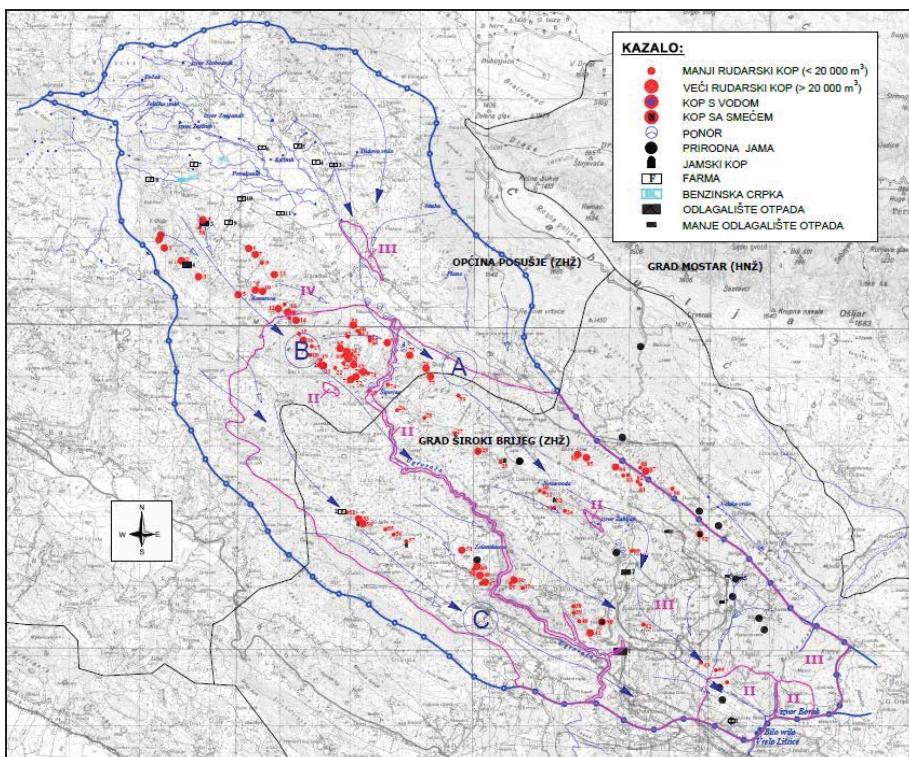
vrlo malen rizik	$RII > 0,168;$
malen rizik	$RII = 0,063 - 0,168;$

srednji rizik	$RII = 0,028 - 0,063;$
visoki rizik	$RII = 0,01 - 0,028;$
vrlo visoki rizik	$RII < 0,01.$

Za svaki registrirani onečišćivač na slivnom području vrela Lištice izračunat je njegov ukupan rizik od onečišćenja i pojedinačno prikazan u tabličnom pregledu. Iz dobivenih pokazatelja je vidljivo da se jedan broj zagađivača nalazi u zoni visokog rizika, odnosno na samoj granici sa zonom srednjeg rizika. Prema navedenim rezultatima će svakako biti potrebno, kroz ažuriranje i usklajivanje postojeće Odluke o zaštiti podzemnih voda sa odredbama novog Pravilnika o uvjetima za zaštitu podzemnih voda izvorišta, definirati i ugraditi potrebne režime zaštite .

ZONE ZAŠTITE

Postupak određivanje granica zona zaštite je propisan "Pravilnikom o načinu utvrđivanja zona sanitарне zaštite i zaštitnih mjera za izvorišta za javno vodosnabdjevanje stanovništva" («Službene novine Federacije BiH», broj: 88/12 od 17. 10. 2012. godine). Kao temeljni kriterij za utvrđivanje udaljenosti granica pojedinih zona navodi se brzina tečenja podzemnih voda, odnosno vrijeme proteklo od unosa do izlaza iz vodonosnika. Tako se kao kriterij za postavljanje vanjske granice II zone zaštite uzima brzina podzemnog tečenja od 1 km/dan, odnosno zadržavanje podzemne vode u podzemlju od jednog dana, za vanjsku granicu III zone se propisuje vrijeme od 10 dana, a za vanjsku granicu IV zone vrijeme od 50 dana ili ona odgovara hidrogeološkoj razvodnici sliva.



Slika 7. Karta katastra onečišćivača - hazarda s ucrtanim zonama zaštite (ljubičasto), prognoznim tokovima podzemne vode i granicama općina (Integra,2015)

Ovo su opće prihvaćeni kriteriji za utvrđivanje granica zona zaštite u kršu. Međutim mnogi pravilnici u svijetu sadrže znatno šire kriterije, poglavito se oni odnose na rekonstrukciju okršavanja u podzemlju i prognozne pozicije podzemnih tokova. Na temelju propisanih kriterija za F BiH utvrđene su zone zaštite podzemnih voda i za izvorište "Vrelo Lištice" koje su prikazane na slici 7 (Integra, 2015).

ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je bio da se kroz predstavljanje suvremenih metoda zaštite krških podzemnih voda i primjera korištenja tih metoda na primjeru sliva vrele Lištice ukaže na najpogodnije smjernice u postupku zaštite krške podzemne vode, koje na širem području Hercegovine danas predstavljaju veliko bogatstvo.

Zaštita podzemnih voda je dosta složen problem zbog vrlo zamršenih hidrogeoloških odnosa krškog podzemlja i relativno velikih brzina podzemnog tečenja od infiltracije s površine terena do istjecanja na izvorima, te relativno male mogućnosti samoprečišćavanja. Krški slivovi, koji su redovito veliki, su zbog toga vrlo osjetljivi na onečišćenja podzemnih voda u krškom vodonosniku. To bogatstvo i najveći izvor kvalitetnih voda u ovom kamenitom i sušnom podneblju svakako zahtijevaju poduzimanje svih mogućih mjera za njihovu zaštitu.

Suvremene metode zaštite krških podzemnih voda su do sada dosta dobre rezultate u zaštiti krških podzemnih voda. Međutim, svaki krški sliv ima neke svoje specifične značajke, te se istraživanju svakog krškog sliva treba prići ozbiljno uključujući multidisciplinarna istraživanja koja mogu pomoći u provedbi učinkovite zaštite podzemnih voda u kršu.

LITERATURA

- Antunović I., Hidrogeološka karta sliva vrele Radobolje i Studenac, magistarski rad, RGNF Zagreb, 1997.
- COST Action 620,: Ranjivost mapiranje za zaštitu karbonatnih vodonosnika. EU 1997 - 2003.
- IGCP Projekt 448: Geologija krša i odgovarajućih ekosustava. , UNESCO, 2000-2004.
- Projekt D GICYT,: Razvoj metodologije za zaštitu podzemnih voda u krškim područjima. Primjena na vodonosnicima u južnoj Španjolskoj, REN 2002-01797. 2002- 2005.
- IGCP-513 Projekt: Globalna studija krških vodonosnika i vodnih resursa. UNESCO-a. 2005- 2009.
- Integra d.o.o. Elaborat zaštite podzemnih voda vodoopskrbnog sustava Širokog Brijega, Mostar 2015.
- Integra d.o.o. Elaborat zaštite izvorišta mostarskog vodoopskrbnog sustava "Vrelo Radobolje" i "Studenac", Mostar 2007.
- Mojićević, M. i Laušević, M.: Tumač i geološka karta, list Mostar 1:100.000. 1966.
- Papeš, J. i Luburić, P.: Prethodni tumač za OGK-u (FNRJ), list Mostar IV, 1:50.000. FSD Geološkog zavoda Sarajevo, 1960.
- Papeš, J. i Raić, V.: Izvještaj u geološkom kartiraju na listu 54. FSD Geološkog zavoda Sarajevo, 1962.
- Patrlj, D. Orelj, V. i Živaljević, T.: Studije o boksu Hercegovine. FSD Geološkog zavoda Sarajevo.1961.
- Projekt "Mostarsko blato" Hidrogeološka istarživanja I faza, INTEGRA Mostar, 2000.
- Projekt "Mostarsko blato" Hidrogeološka istarživanja II faza, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, 2004.

Slišković I.: Hidrogeološka istraživanja zapadne Hercegovine, objavljeni rad u časopisu "Budnica", Zagreb, 1994.

Slišković, I., Hidrogeološka istraživanja na području Zapadne Hercegovine, objavljena knjiga, Zagreb, 2013.

Slišković, T. Papeš, J. i Raić, V: O stratigrafiji i tektonici južne Hercegovine. Geološki glasnik 6 Sarajevo, 1962.

Štambuk –Giljanović V. Sliv rijeke Neretve I njenog porječja, Zavod za javno zdravstvo Dalmacije, objavljena knjiga, Split, 2000.

Živaljević, T. i Orelić, V.: Izvještaj o geološkom kartiranju boksitnih terena, područja Varda Planine i Knešpolja. FSD Geološkog zavoda Sarajevo, 1964.

KONCEPTUALNI, MATEMATIČKI I MODEL SUSTAVSKE DINAMIKE SUSTAVA ZA PROČIŠĆAVANJE VODE

L. Gotal Dmitrović, N. Kos, B. Soldo

Odjel za graditeljstvo, Sveučilište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin, 104.brigade 3,
Varaždin, Hrvatska

SAŽETAK

U radu je prikazan izgradnja modela sustava za pročišćavanje vode. Rad započinje prikazom načina prikupljanja i obrade podataka. Budući da podaci koji nedostaju, nedostaju nasumice (slučajno) (engl. *missing at random (MAR)*), kod obrade podataka koristila se metoda brisanja (engl. *Listwise deletion*). Da bi sustav radio u optimalnim uvjetima, potrebno je, temeljem prikupljenih podataka oblikovati konceptualni model rada pročistača te modelirati kretanje onečišćenja svake promatrane onečišćujuće tvari, što je prezentirano njihovim matematičkim modelima (koristeći se sustavima diferencijalno-diferencijskih jednadžbi za pročistače i jednadžbama funkcija za svaku tvar). Provjerom dobrote ovih modela, provjeroeno je, je li simulacijski model adekvatno predstavlja stvarni sustav, usporedujući stvarne izlazne vrijednosti koncentracija amonijaka i organske tvari s izlaznim rezultatima eksperimenta.

Nakon što je oblikovan matematički modeli funkcija rada pročistača, oblikovan je model sustavske dinamike. Pri tome su matematičke funkcije nezavisne varijable sustava, a kvaliteta vode zavisna varijabla koju isporučuju sustavi za pročišćavanje vode.

Istraživanja koja su provedena za potrebe ovog rada ogledaju se u interdisciplinarnom području koje obuhvaća informatiku i ekologiju te zaštitu okoliša (eko-informatiku) što omogućava sustavno izučavanje i predlaganje ekoloških mjera za zaštitu okoliša, na način da se ispitivanja iz okoliša prenose na simulacijski model u različitim uvjetima rada, uz mogućnost vizualizacije i oblikovanjem temeljnim čimbenicima rada sustava za pročišćavanje vode koji je adaptivan na promjene i krizne situacije nastale zbog onečišćenja vode.

Vrijedan je također i doprinos istraživanja koji se odnosi na upravljanje prikupljenim podacima i uvažavanje njihovih specifičnosti i načine prezentiranja te njihovo višestruko korištenje; kao i korištenje modernih alata i tehnika modeliranja, s posebnim naglaskom na simulacijsko modeliranje koje se uspješno nosi s varijabilitetom koncentracija onečišćujućih tvari i bioraznolikošću okoliša.

Ključne riječi: modeliranje; sustavi za pročišćavanje vode

UVOD

Sustav pročišćavanja vode pripada grupi složenih, inženjerskih sustava u zaštiti okoliša. Složenost istraživanog sustava očituje se u pogledu broja komponenti sustava i njihovih međuvisnosti u svrhu razumijevanja sustava i donošenja odluka.

Takve je sustave često nemoguće prezentirati linearnim modelima, već zahtijevaju složenije modele koji uključuju višeatributne funkcije koje često nisu linearog oblika, čime se pak podiže vjerodostojnost samog modela. Metoda koja ispunjava navedene zahtjeve je simulacijsko modeliranje koje obuhvaća primjenu različitih matematičkih i statističkih modela te alata potrebnih za oblikovanje dinamike i ponašanja pojedinih entiteta i njihovih atributa.

Istraživanje je obuhvatilo oblikovanje konceptualnog modela stvarnog, složenog, inženjerskog sustava za pročišćavanje otpadne komunalne vode na kvalitetu površinske vode.

Model novooblikovanog sustava mijenja kvalitetu vode (prijezalna varijabla) temeljem sinergijskog utjecaja nezavisnih varijabli koje utječu na prijezalne varijable (koncentracije onečišćujuće tvari u vodi), u konačnici na zavisnu varijablu (voda za ljudsku potrošnju).

Razvoj istraživanog složenog, inženjerskog sustava potrebno je razviti na način da postiže rezultate u kojima će se očitovati njegova osjetljivost, odnosno prilagodba na promjene režima rada sustava i varijabilnost koncentracije promatranih onečišćenja. Pri tome se teži oblikovanju modela koji će opisati proces pročišćavanja vode uvođenjem povratnih veza, što proces u ovom sustavu čini adaptivnim i samoregulirajućim. Rezultat provođenja procesa dovest će (samim tim) i do smanjenja varijabilnosti koncentracija onečišćenja, a time i poboljšati razinu kvalitete pročišćene vode.

PRIKUPLJANJE PODATAKA

Informatizacija laboratorija pridonijela je jednostavnijem pretraživanju podataka i njihovih analiza, pa tako i naglom porastu podataka kojim se raspolaze, odnosno povećala se brzina pristupa podacima. Upotreboom odgovarajućih tehnologija, danas je već u laboratorijima moguće prikupiti, ali i analizirati vrlo velike količine podataka. Prema vrsti uzorka, uzorak je jednostavni, slučajni (engl. random) uzorak. Budući da je cilj rada istražiti pročišćavanje komunalne otpadne vode, koristit će se za istraživanje samo određeni parametri koji su karakteristični za tu vrstu onečišćenja.

OBRADA PODATAKA

Iz baze podataka preuzeti su podaci o koncentraciji organske tvari i koncentraciji amonijaka u svim dijelovima oba sustava za pročišćavanje vode. Iz podataka izračunate su srednje tjedne vrijednosti. Podaci koji nedostaju, Prema P. D. Allison, 2001., spadaju u podatke koji nedostaju nasumce (engl. missing at random (MAR)) te je uzorak i dalje reprezentativan, a za njihovu obradu prema J. G. Ibrahim et al., 2005., i L.Gotal Dmitrović et al., 2015. preporuča se metoda brisanja (engl. Listwise deletion), odnosno koriste se samo cijeloviti redovi tablice podataka.

Za potrebe izgradnje modela, odnosno da bi model oponašao stvarni sustav, potrebno je u njega ugraditi zakonitosti ponašanja stvarnog sustava. Iz tjednih srednjih vrijednosti za svaki parametar određuje se karakteristična teorijska distribucija vjerojatnosti pojavljivanja određenog događaja. Korištenjem aplikacije Stat::Fit iz simulacijskog paketa Service Model v4.2. određene su karakteristične teorijske distribucije za koncentraciju organske tvari i amonijaka na svakoj kontrolnoj točci i osnovne karakteristike deskriptivne statistike. Podaci su prikazani u tablici 1.i tablici 2.

Tablica 1. Opisna statistika i karakteristična teorijska distribucija vjerojatnosti za organsku tvar na kontrolnim točkama

	Ulaz u bioaeracijski spremnik	Izlaz iz bioaeracijskog spremnika
Teorijska distribucija	LOG NORMALNA (-207; 6,63; 0,483)	LOGNORMALNA (4,68; 3,28; 0,576)
Broj podataka	261	260
Minimum	36,1429	9,71429
Maksimum	1 947,43	146,857
Srednja vrijednost	641,144	36,0885
Medijan	548,429	32
Mod	243,786	24,1429
Stand. devijacija	403,587	19,9632
Varijanca	162 882	398,529
Koef. varijacije	62,9479	55,3174
Koef. asimetričnosti	0,796546	2,12314
Koef. spljoštenosti	0,0770558	6,90101

Tablica 2. Opisna statistika i karakteristična teorijska distribucija vjerojatnosti za amonijak na kontrolnim točkama

	Ulaz u bioaeracijski spremnik	Izlaz iz bioaeracijskog spremnika
Teorijska distribucija	Log normalna (-2,61; 3,01; 0,605)	empirijskodistribucija
Broj podataka	261	261
Minimum	2,55143	0,0271429
Maksimum	59,3286	41,5286
Srednja vrijednost	21,4312	5,78432
Medijan	17,1343	0,45
Mod	13,725	0,189286
Standardna devijacija	13,8328	10,0984
Varijanca	191,347	101,978
Koeficijent varijacije	64,5454	174,583
Koef. asimetričnosti	0,725003	1,87479
Koef. spljoštenosti	-0,525252	2,35761

Empirijska distribucija vjerojatnosti koja opisuje koncentraciju amonijaka na izlazu iz sustava za pročišćavanje otpadne komunalne vode prikazana je u tablici 3.

Tablica 3. Empirijska distribucija vjerojatnosti za amonijak na izlazu sustava za pročišćavanje otpadne komunalne vode

Krajnja vrijednost	Srednja vrijednost	Relativna učestalost	Kumulativna relativna učestalost	Raspon slučajnih brojeva
0,0271429				
4,63841	2,33278	0,727969	0,727969	000 - 072
9,24968	6,94405	0,045977	0,773946	073 - 076
13,861	11,5553	0,0651341	0,83908	077 - 082
18,4722	16,1666	0,0383142	0,877395	083 - 086
23,0835	20,7779	0,0153257	0,89272	087 - 088
27,6948	25,3891	0,0268199	0,91954	089 - 091
32,306	30,0004	0,0383142	0,957854	092 - 095
36,9173	34,6117	0,0306513	0,988506	096 - 098
41,5286	39,2229	0,0114943	1	098 - 099

Nakon utvrđivanja porodice krivulja određena je procjena slaganja podataka s odabranom distribucijom, testovima: χ^2 - test, Kolmogorov-Smirnov test i Anderson – Darling test. Rezultati procjene slaganja podataka s odabranom distribucijom prikazani su u tablici 4.

Tablica 4. Rezultati procjene slaganja podataka s odabranom distribucijom

	Distribucija	Vjerojatnost pouzdanosti	χ^2		Kolmogorov – Smirnov test		Anderson – Darling test	
			p-vrijednost	H ₀ /H ₁	p-vrijednost	H ₀ /H ₁	p-vrijednost	H ₀ /H ₁
Koncentracija organske tvari na ulazu	Log normalna (-207; 6,63; 0,483)	0,95	0,739	H ₀	0,541	H ₀	0,514	H ₀
Koncentracija amonijaka na ulazu	Log-normalna (-2,61; 3,01; 0,605)	0,95	0,489	H ₀	0,121	H ₀	0,197	H ₀

Za procjenu slaganja, prema Law, A. M., Kelton, W. D, 1982, korišteni su testovi: χ^2 , Kolmogorov-Smirnov i Anderson-Darling. Prema rezultatima prikazanim u tablici 4. kod svih mjesto ispitivanja prihvaćena je H₀ hipoteza u sva 3 testa.

KONCEPTUALNI MODEL SUSTAVA

Sustav se sastoji od objekata za mehaničko pročišćavanje (mehanički stupanj) i objekata za biološko pročišćavanje (biološki stupanj) otpadnih voda (slika 1.). Osim objekata pročišćavanja postoje objekti za obradu viška mulja (crpilište viška mulja, uguščivači mulja, strojna dehidracija svježeg mulja i kemijska stabilizacija mulja s kalcijevim oksidom (CaO)).

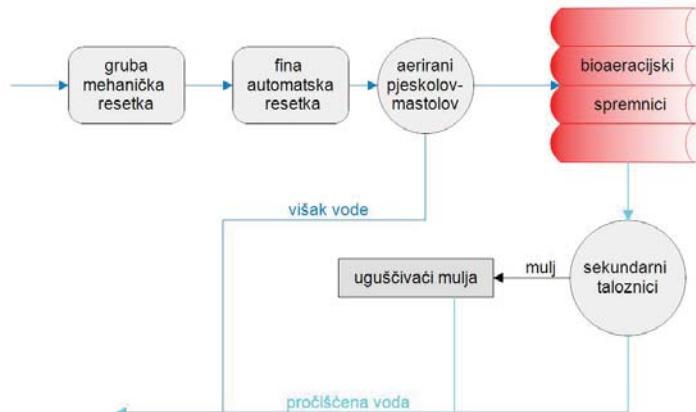
Pod mehaničko pročišćavanje otpadnih voda podrazumijeva se fizičko uklanjanje glomaznog otpada na gruboj rešetki (razmak štapova 50 mm) koji bi mogao oštetići pužne crpke i sitnog otpada na finoj automatskoj rešetki gdje se iz otpadnih voda izdvajaju preostale nečistoće veće od 8 mm. Budući da u ovom stupnju nema pročišćavanja vode od organske tvari i amonijaka (kao niti od ostalih otopljenih i suspendiranih tvari) ovaj stupanj neće biti uključen u model.

Postupak biološkog čišćenja odvija se pomoću aerobnih, a djelomično i anaerobnih mikroorganizama u bioaeracijskim spremnicima. Ovi mikroorganizmi koriste biološko i kemijsko onečišćenje iz otpadnih voda za svoj metabolizam i pritom ga mineraliziraju. To je vrlo intenzivan prirodni proces razgradnje, koji se i inače ekstenzivno odvijaju u prirodi.

U bioaeracijskim spremnicima smjesa otpadnih voda i kontrolirano visoka koncentracija biološkog mulja intenzivno se miješa podvodnim elektromješalicama, uz paralelno uvođenje zraka u vremenskim intervalima pomoću poroznih cijevnih, gumenih aeratora, uz formiranje sitnih mjehurića zraka. Nakon određenog vremena zadržavanja u bioaeracijskim spremnicima, smjesa otpadnih voda i biološkog mulja sifonski izlazi iz bioaeracijskih spremnika i otjeće u sekundarne taložnice gdje se izbistri, te se kao očišćena voda gravitacijski odvodi u prijamnik – potok Trnavu, a biološki se mulj taloži na dno sekundarnih taložnica.

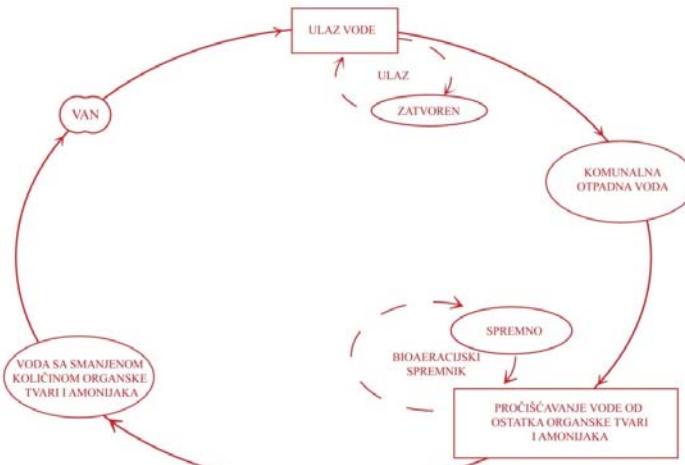
Primarni mulj i višak biološkog mulja u primarnim se uguščivačima ujednačeno zgušćuje, a obujam mulja se smanjuje za 4 – 5 puta u odnosu na ulazne količine. Tako zgušnuti mulja još se mehanički dehidrira (odvaja se voda) na centrifugama. Izdvojena muljna voda iz centrifuga i primarnih uguščivača mulja vraća se na ulaznu crpnu stanicu na ponovno pročišćavanje.

Po izlasku dehidriranog mulja iz centrifuge, u mješaču za kemijsku stabilizaciju dehidriranom mulju dodaje se manja količina kalcijevog oksida (CaO), čime se provodi djelomična stabilizacija. Cjelokupna količina mulja, uz prethodno obavljene analize u ovlaštenom laboratoriju, koristi se za proizvodnju komposta. Kakvoća otpadnog mulja koji se odlaže na poljoprivredne površine zadovoljava kriterije iz Direktive EU (86/278/EEC).

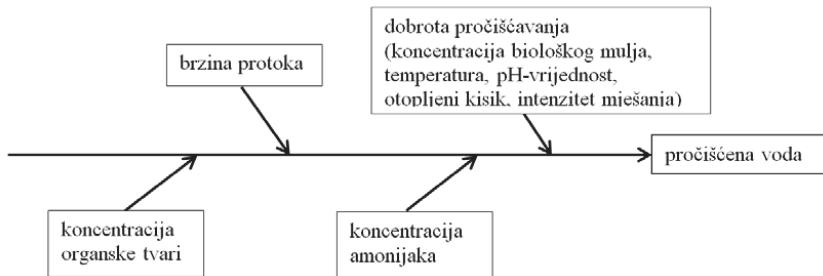


Slika 1. Shematski prikaz sustava za pročišćavanje komunalne otpadne vode

Dijagram ciklusa aktivnosti (DCA) sustava za pročišćavanje otpadne komunalne vode na kvalitetu površinske vode prikazan je na slici 2, a dijagram uzrok-posljedica na slici 3.



Slika 2. Dijagram ciklusa aktivnosti sustava za pročišćavanje otpadne komunalne vode



Slika 3. Dijagram uzrok-posljedica sustava za pročišćavanje otpadne komunalne vode

MATEMATIČKI MODEL SUSTAVA

Matematičkim modeliranjem izgrađen je model komponenti sustava za pročišćavanje vode diferencijalno i diferencijsko-diferencijalnom jednadžbom. U svakoj bioaeracijskom spremniku odvija se reakcija prema relaciji:

$$S = (D \cdot (I - S) - dS/dt) / (K + D) \quad (1)$$

gdje su: I - masena koncentracija na ulazu (mg/l), S - masena koncentracija na izlazu (mg/l), dS/dt - promjena u čistoći vode (mg/l/dan), K - dobrota pročišćavanja ($1/\text{dan}$), $1/D$ - vrijeme zadržavanja vode (dan).

Dobrota pročišćavanja je izražena u relativnom pokazatelju. Promjena u čistoći vode predstavlja izraz dS/dt koji se računa za svaki parametar u svakoj komponenti:

$$dS/dt = D \cdot (I - S) - S \cdot (K + D) \quad (2)$$

Dobrota pročišćavanja nije konstanta, radi sezonskih promjena, te se ona prikazuje kao teorijska distribucija za svaku komponentu:

$$K = f(S)/S = \{[(I-S) \cdot D] - dS/dt\} / S \quad (3)$$

Za vrijednosti dobrote (kvalitete) pročišćavanja, korištenjem aplikacije Stat::Fit iz simulacijskog paketa Service Model v4.2. određene su karakteristične teorijske distribucije i osnovne karakteristike deskriptivne statistike. Podaci su prikazani u tablici 5.i tablici 6.

Tablica 5. Opisna statistika i karakteristična teorijska distribucija za dobrotu pročišćavanja od organske tvari

	Dobrota pročišćavanja bioaeracijskog spremnik
Teorijska distribucija	LOG-NORMALNA (-21,3; 3,63; 0,239)
Broj podataka	260
Minimum	0,856716
Maksimum	55,7228
Srednja vrijednost	17,504
Medijan	15,8148
Mod	15,1228
Standardna devijacija	9,35954
Varijanca	87,6011
Koeficijent varijacije	53,4709
Koeficijent asimetričnosti	0,668827
Koeficijent spljoštenosti	0,790349

Tablica 6. Opisna statistika i karakteristična teorijska distribucija za dobrotu pročišćavanja od amonijaka

	Dobrota pročišćavanja bioaeracijskog spremnika
Teorijska distribucija	EMPIRIJSKA
Broj podataka	260
Minimum	-0,255254
Maksimum	220,237
Srednja vrijednost	42,5995
Medijan	33,5801
Mod	0,271494
Standardna devijacija	45,3055
Varijanca	2 052,59
Koeficijent varijacije	106,352
Koeficijent asimetričnosti	1,5269
Koeficijent spljoštenosti	2,49659

Nakon utvrđivanja porodice krivulja određena je procjena slaganja podataka s odabranom distribucijom, testovima: χ^2 - kvadrat test, Kolmogorov-Smirnov test i Anderson – Darling test. Rezultati procjene slaganja podataka s odabranom distribucijom prikazani su u tablici 7. Parametri empirijske distribucije za dobrotu pročišćavanja od amonijaka u sustavu za pročišćavanje otpadne komunalne vode prikazani su u tablici 8.

Tablica 7. Rezultati procjene slaganja dobre pročišćavanja s odabranom distribucijom

	Distribucija	Vjerojatnost pouzdanosti	χ^2	Kolmogorov – Smirnov test		Anderson – Darling test	
			p-vrijednost	H_0/H_1	p-vrijednost	H_0/H_1	p-vrijednost
Dobrota pročišćavanja od org. tvari	Log-normalna (-21,3; 3,63; 0,239)	0,95	0,0728	H_0	0,675	H_0	0,655
Dobrota pročišćavanja od amonijaka	Empirijska	-	-	-	-	-	-

Tablica 8. Empirijska distribucija za dobrotu pročišćavanja od amonijaka

Krajnja vrijednost	Srednja vrijednost	Relativna učestalost	Kumulativna relativna učestalost	Raspon slučajnih brojeva
2,55143				
8,86	5,70571	0,183908	0,183908	000 – 017

15,1686	12,0143	0,252874	0,436782	018 – 043
21,4771	18,3229	0,172414	0,609195	044 – 060
27,7857	24,6314	0,0996169	0,708812	061 – 070
34,0943	30,94	0,0727969	0,781609	071 – 077
40,4029	37,2486	0,0804598	0,862069	078 – 085
46,7114	43,5571	0,0842912	0,94636	086 – 093
53,02	49,8657	0,0383142	0,984674	094 – 097
59,3286	56,1743	0,0153257	1	098 – 099

Vrijeme zadržavanja (1/D) dobiveno je iz izraza:

$$1/D = V/Q \quad (4)$$

gdje su: V – volumen komponente (m³), a Q – volumni protok vode kroz komponentu (m³/dan).

Za rješavanje sustava diferencijalnih jednadžbi prvog reda, korištena je metoda Runge-Kutta.

Početna jednadžba u svakoj komponenti sustava, prema jednadžbi (1), je:

$$dS/dt = D \cdot (I - S) - K \cdot S \quad (5)$$

$$dS/dt = (-D - K) \cdot S + D \cdot I \quad (6)$$

linearna diferencijalna jednadžba prvog reda:

$$dS/dt + (D + K) \cdot S = D \cdot I \quad (7)$$

gdje su: I – masena koncentracija na ulazu, S – masena koncentracija na izlazu, dS/dt - promjena u čistoći vode, K - dobrota pročišćavanja, 1/D - vrijeme zadržavanja vode u svakoj komponenti sustava.

Napisana u obliku diferencijalne jednadžbe:

$$S(t+\Delta t) = S(t) + D \cdot (I - S) \cdot \Delta t - K \cdot S \cdot \Delta t \quad (8)$$

Promatra se Taylorov razvoj funkcije:

$$\begin{aligned} y(x_0 + h) &= y(x_0) + y'(x_0) \cdot h + \frac{1}{2!} y''(x_0) \cdot h^2 + \\ &+ \frac{1}{3!} y'''(x_0) \cdot h^3 + \frac{1}{4!} y^{(4)}(x_0) \cdot h^4 + O(h^4) \end{aligned} \quad (9)$$

O(h⁴) je ostatak koji predstavlja $\lim_{h \rightarrow 0} \frac{O(h^4)}{h^4} = 0$

Uz pretpostavku da je $t_{(0)}=0$, odnosno da je u vremenu $t_{(0)}$, izlaz $S_{(0)}=0$, prema izrazima (11) - (15), vrijedi:

$$S(t_{i+1}) = S(t_i + \Delta t_i) = S(t_i) + 1/6 [K_1^{(i)} + K_2^{(i)} + K_3^{(i)} + K_4^{(i)}] \quad (10)$$

gdje je:

$$K_1^{(i)} = \Delta t_i \cdot F(t_i, S(t_i)) \quad (11)$$

$$F(t_i, S(t_i)) = D \cdot (I(t_i) - S(t_i)) - K(t_i) \cdot S(t_i) \quad (12)$$

$$K_2^{(i)} = \Delta t_i \cdot F(t_i + \Delta t_i/2, S(t_i) + 1/2 K_1^{(i)}) \quad (13)$$

$$F(t_i, S) = (-D - K) \cdot S + D \cdot I \quad (14)$$

$$\begin{aligned} F(t_i + \Delta t_i/2, S(t_i) + 1/2 K_1^{(i)}) &= \\ &= (-D - K(t_i + \Delta t_i/2)) \cdot [S(t_i) + 1/2 K_1^{(i)}] + D \cdot I(t_i + \Delta t_i/2) \end{aligned} \quad (15)$$

$$K_3^{(i)} = \Delta t_i \cdot F(t_i + \Delta t_i/2, S(t_i) + 1/2 K_2^{(i)}) \quad (16)$$

$$\begin{aligned} F(t_i + \Delta t_i/2, S(t_i) + 1/2 K_2^{(i)}) &= \\ &= (-D - K(t_i + \Delta t_i/2)) \cdot [S(t_i) + 1/2 K_2^{(i)}] + D \cdot I(t_i + \Delta t_i/2) \end{aligned} \quad (17)$$

$$K_4^{(i)} = \Delta t_i \cdot F(t_i + \Delta t_i/2, S(t_i) + K_3^{(i)}) \quad (18)$$

$$\begin{aligned} F(t_i + \Delta t_i, S(t_i) + K_3^{(i)}) &= \\ &= (-D - K(t_i + \Delta t_i)) \cdot [S(t_i) + K_3^{(i)}] + D \cdot I(t_i + \Delta t_i) \end{aligned} \quad (19)$$

Metoda Runge-Kutta korištena je tijekom provođenja simulacije. Pomoću aplikacije Powersim Constructor Version 2.51. izrađen je model sustavske dinamike. U svakoj komponenti sustava

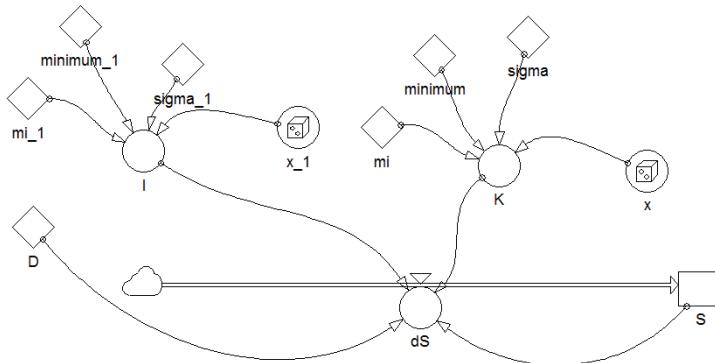
korištenjem metode Runge-Kutta izračunava se diferencijska jednadžba (7), na način prikazan sustavom jednadžbi (10) – (19).

MODEL SUSTAVSKE DINAMIKE SUSTAVA

Izgradnja modela sustavske dinamike je prenošenje saznanja o ponašanju stvarnog sustava uobičajenog konceptualnim modelom u obliku koji je pogodan za izvođenje simulacija na računalu. Nakon izgradnje, potrebno je uvjeriti se da li su zaista konceptualni modeli, kao reprezentacije realnog sustava, i modeli sustavske dinamike kompatibilni u dozvoljenim granicama odstupanja, i da li model sustava zaista daje rezultate prema utvrđenim pravilima, što se osigurava stvaranjem povjerenja u simulacijski model.

Nakon odabira simulacijskog alata slijedi faza izgradnje modela sustavske dinamike. U prethodnim koracima učinjene su sve neophodne predradnje (sagledani su problemi u postojecem sustavu, određeno je ponašanje elemenata stvarnog sustava i oblikovan je konceptualni model koji je validiran), što znači da izgradnja može početi. Model sustavske dinamike izrađen je u Powersim Constructor Version 2.51. Dijagrami toka te jednadžbe za komponente sustava za pročišćavanje od organske tvari prikazani su na slikama 5 - 8.

Računalni model za svaku varijablu sustava koristi slučajno odabrane vrijednosti iz teoretske distribucije vjerojatnosti te varijable. Prema izrazu (5), metodom Runge-Kutta izračunava se promjena u čistoći vode (dS/dt), odnosno masena koncentracija na izlazu (S).



Slika 5. Model sustavske dinamike pročišćavanja vode od organske tvari

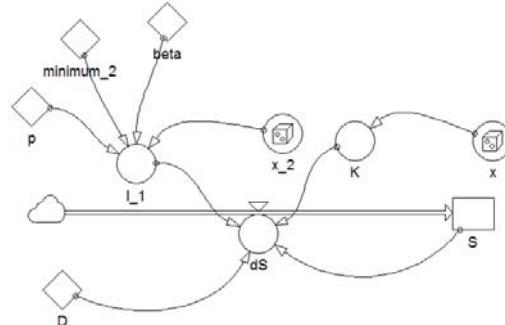
Screenshot of Powersim Constructor Lite showing the model for water treatment with organic matter in a bioaerobic reactor.

```

File Edit View Format Simulate Color Tools Window Help
S cakovec\CK-OT.SIM
S
  0
  +dt*ds
  početna vrijednost
  ds
    = (D*L)-(D+K)*S
  I
    = 36000*(1/(x_1-minimum_1))*SQRT(2*Pi*sigma_1^2))*EXP(-(LN(x_1-minimum_1)-mi_1)^2/2*sigma_1^2)
  ulaz
  K
    = 1000*(1/((x-minimum)*SQRT(2*Pi*sigma^2)))*EXP((-LN(x-minimum)-mi)^2/2*sigma^2)
  x
    = 10*RANDOM(1,100)
  x_1
    = RANDOM(0.000001,7400000)
  D
    = 0.25
  mi
    = 3.63
  mi_1
    = 6.63
  minimum
    = -21.3
  minimum_1
    = -207
  sigma
    = 0.239
  sigma_1
    = 0.483

```

Slika 6. Jednadžbe modela pročišćavanja vode od organske tvari u bioaeracijskom spremniku



Slika 7. Računalni model pročišćavanja vode od amonijaka

Screenshot of Powersim Constructor Lite showing the model for ammonia removal in a bioaerobic reactor.

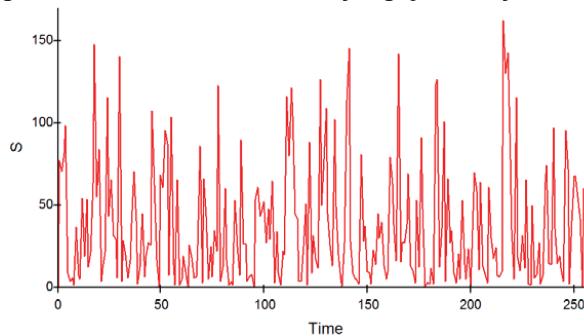
```

File Edit View Format Simulate Color Tools Window Help
S CK-AM.SIM
S
  0
  +dt*ds
  početna vrijednost
  ds
    = (D*L1)-(D+K)*S
  L1
    = 3500*p*((x_2-minimum_2)/beta)^(p-1))/((beta+1)*((x_2-minimum_2)/beta)^p)^2
  ulaz
  K
    = IF (x<18, 5.70571, IF (x>18 AND x<44, 12.0143, IF (x>44 AND x<61, 18.3229, IF (x>61 AND x<71, 24.6314, IF (x>71 AND x<78, 30.94, IF (x>78 AND x<86, 37.2486, IF (x>87 AND x<94, 43.5571, IF (x>94 AND x<98, 49.8857, IF (x>95 AND x<99, 56.1743,0)))))))
  x
    = RANDOM(0.99)
  x_2
    = RANDOM(0.1,1.5)
  beta
    = 0.605
  D
    = 5
  minimum_2
    = -2.61
  p
    = 3.01

```

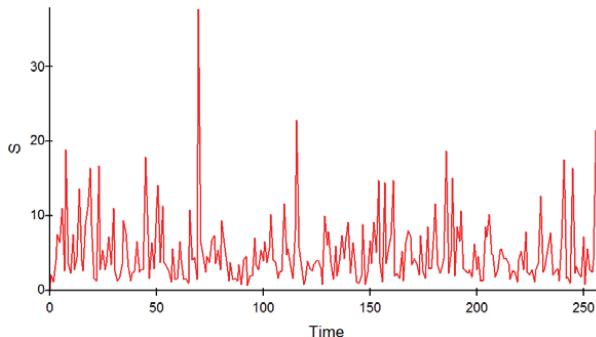
Slika 8. Jednadžbe modela pročišćavanja vode od amonijaka u bioaeracijskom spremniku

Rezultati simulacije koncentracije organske tvari grafički su prikazani na slikama 9. Vrijednosti koncentracije organske tvari na izlazima iz bioaeracijskog spremnika je do 150 mgO₂/l.



Slika 9. Rezultati simulacije koncentracije organske tvari na izlazu iz bioaeracijskog spremnika

Rezultati simulacije koncentracije amonijaka na izlazu iz komponenti sustava (bioaeracijski spremnik i filter) grafički su prikazani na slikama 10. Vrijednost koncentracije amonijaka na izlazu iz bioaeracijskog spremnika je do 40 mgN/l.



Slika 10. Rezultati simulacije koncentracije amonijaka na izlazu iz bioaeracijskog spremnika

VREDNOVANJE SIMULACIJSKOG MODELA

Vrednovanjem simulacijskog modela ispituje se je li simulacijski model adekvatno predstavlja stvarni sustav. Usporeduju se stvarne vrijednosti izlaza s izlazom iz modela. Budući da se radi o distribucijama koje se ne ubrajaju u porodicu Gaussova krivulja prema Petz et al., 2012., odnosno koje su asimetrične, za ispitivanje se koriste neparametričke metode (katkad se naziva i "statistika slobodna od distribucije"). Budući da se radi o dva nezavisna uzorku korišten je Test sume rangova (Mann-Whitneyev U-test). Nakon provedenih testova sume rangova. Dobivene su vrijednosti prikazane u tablici 11. U istoj tablici prikazane su vrijednosti minimum, maksimuma i srednje vrijednosti za stvarne masene koncentracije i za masene koncentracije dobivene modelom.

Tablica 11. Usporedba stvarnih podataka i podataka dobivenih modelom

		Stvarna v.	Model	Mann-Whitney U test
Bioaerator – organska tvar	Minimum	9,71	10,09	H ₀
	Maksimum	146,85	135,03	Z = -1,62996
	Sred. vrijednost	36,18	41,25	p= 0,103106
Bioaerator – amonijak	Minimum	0,03	0,67	H ₁
	Maksimum	41,52	37,85	Z=-6,71806
	Sred. vrijednost	5,78	5,40	p=0

Rezultati pokazuju da modeli dobro predstavljaju stvarne sustave za pročišćavanje vode, odnosno dobro opisuju svaku od komponenti sustava.

ZAKLJUČAK

Predmet istraživanja su složeni inženjerski sustavi u zaštiti okoliša, preciznije, adaptivni sustavi za pročišćavanje komunalne vode na kvalitetu vode za ljudsku potrošnju. Zaštita okoliša kao interdisciplinarna znanstvena disciplina brzo se razvija, koristeći informacijsko-komunikacijske tehnologije (IKT). Otkrivanje, integriranje i analiza ogromnih količina heterogenih podataka je ključno u istraživanju složenih pitanja u zaštiti okoliša. Ekoinformatika nudi alate i pristupe za upravljanje okolišnim pokazateljima i pretvara ih u informacije i znanje. Razvoj informacijskih tehnologija utječe na kvalitetu podataka, uključujući istraživanja i pruža stabilnu bazu za njihov razvoj. Zaključno, istraživanja koja su provedena za potrebe ovog rada ogledaju se u interdisciplinarnom području koje obuhvaća informatiku i ekologiju te zaštitu okoliša (ekoinformatiku) što omogućava sustavno izučavanje i predlaganje ekoloških mjera za zaštitu okoliša, na način da se ispitivanja iz okoliša prenose na simulacijski model u različitim uvjetima rada, uz mogućnost vizualizacije i oblikovanjem temeljnim čimbenicima rada sustava za pročišćavanje vode koji je adaptivan na promjene i krizne situacije nastale zbog onečišćenja vode. Pretraživanjem literature i njezinom analizom uglavnom se pronalaze radovi kojima se takav sustav opisuje gradevinsko-tehnološkim rješenjima. Znanstvena zajednica (u časopisima kao što su npr. Ecological Informatics, Trends in Ecology & Evolution i dr.), u zadnje vrijeme naglašava potrebu za konceptualizacijom i parametrizacijom prije primjene mjera za zaštitu okoliša, što je do sada učinjeno samo na dijelovima sustava (pročistačima). Adaptivnim modelima omogućena je portabilnost, u smislu primjene takvih sustava na drugim lokacijama, odnosno s drugačijim vrijednostima ulaznih koncentracija onečišćenja. Model je razvijen radi usvajanja znanja o pročišćavanju otpadne komunalne vode. Potrebno je naglasiti i adaptibilnost simulacijskog modela za proučavanje onečišćenja nekim drugim tvarima i na drugim lokacijama. Metode modeliranja i konceptualizacije takvih situacija bitno doprinose očuvanju okoliša te zdravlja ljudi.

LITERATURA

- [1] Allison P.D., *Missing Data*, Sage University Papers Series on Quantitative Applications in the Social Science, 2001.
- [2] Gotal Dmitrović, L., *Razvoj složenih inženjerskih sustava za pročišćavanje vode*, PhD thesis, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike, 2015.
- [3] Gotal Dmitrović, L.; Dušak, V.; Dobša, J. *Missing data problems in Non-Gaussian probability distributions*, Informatologia, Vol. 49, 3-4, 2016.
- [4] Gotal, L.; V. Dušak; T. Legović, *A Proposal for Satisfactory Potable Water Quality in the City of Varazdin*, Geographical Information Systems, International Conference and Exhibition/D. Kereković (ur.), Hrvatski informatički zbor - GIS Forum, 415-426, 2002.
- [5] Ibrahim, J. G.; M. H. Chen; S. R. Lipsitz; A. H. Herring, *Missing-Dana Methods for Generalised Linear Models: A Comparative Review*, Journal of the American Statistical Association, 2005.
- [6] Little, R.J.A., *A Test of Missing Completely at Random for Multivariate Data with Missing Values*, Journal of the American Statistical Association, 83, 404, 1198-1202, 1988.

- [7] Petz, B., V. Kolesatić,; D. Ivanec, *Petzova statistika*, Naklada Slap, Zagreb, 2012.

OCJENA SBR UREĐAJA KROZ KVALITATIVNO-ANALITIČKU METODU SWOT I METODU KOMPARACIJE

I. Šišić, J. Ibrahimpašić

Univerzitet u Bihaću, Ul. Pape Ivana Pavla II/2/2 77000 Bihać, BiH

SAŽETAK

SBR uredaj je jedna od izvedbi biološkog sustava pročišćavanja sanitarno-fekalnih otpadnih voda s aeracijom iz domaćinstava, poslovnih objekata i ugostiteljskih lokala. Primjenjuju se u slučajevima kada je hidrauličko opterećenje promjenljivo u toku eksploatacije. Način primjene je definiran prema HRN EN 12566-3 i u nadopuni 2. dijela DIN 4261.

U istraživanju izbora adekvatne metode ocjene SBR uredaja ili SBR postrojenja u radu su predstavljene dvije metode ocjene i izbora te detaljno identificirani, prepoznati, označeni, vrednovani i numerisani po značajnosti ključni parametri, istraženi utjecajni čimbenici, postavljene veličine, indikatori i pokazatelji ocjene, koristeći elemente iz zadatka ocjene preko praktičnih pretraživanja baza podataka.

Djelovanje SBR tehnologije na vanjsko okruženje i radni okoliš kao i očekivani investicioni izdaci obraditi će se kroz SWOT analizu, dok će se komparativnom metodom izvršiti usporedba istih ili srodnih činjenica, pojava procesa (sustava) pročišćavanja sanitarno-fekalnih voda, odnosno utvrđivanja njihove sličnosti u ponašanju i intenzitetu i razlika među njima.

Na temelju raznovrsnih dokumenata i dokaznog materijala odabranim zanstvenim metodama analize (SWOT matrica i komparativna metoda) dati će se odgovori koji će omogućiti potencijalnim investitorima da na osnovu dobijenih rezultata analize donesu adekvatnu ocjenu rada uredaja ili postrojenja, izvrše izbor (nabavku) uredaja, kao i da postave projektni zadatak, a projektantima da unaprijede izradu investicione projektne dokumentacije.

KLJUČNE RIJEČI: znanstvene metode; SBR uredaj-postrojenje; ocjena i izbor

UVOD

Problematika ocjene i izbora najpovoljnijeg postupka pročišćavanja otpadnih voda kao i izbor uredaja je jako izražena obzirom na veliku tržišnu ponudu uredaja za obradu otpadnih voda. Izbor postupka obrade otpadnih voda ovisi o količini, mjestu nastanka i sastavu otpadne vode, mogućnosti korištenja povratne vode i ostvarenog stupnja pročišćenosti prije ispuštanja u vodotok ili prije korištenja u druge svrhe (tehnička ili voda za navodnjavanje). Analiza problema pročišćavanja otpadnih voda i postavljanja projektnog zadatka obavezno uključuje (Ibrahimpašić, 2014.):

- količinu i svojstva otpadne vode,
- svojstva prijemnika sa elementima pripreme, egalizacije i uravnoteženja sastava i količina otpadnih voda,
- poznavanje propisanih normi i uslova ispuštanja otpadnih voda,
- stupanj efikasnosti procesa u odnosu na primjenjene metode pročišćavanja sa uredajima i obrade mulja i
- visinu investicijskih ulaganja i ekonomičnost postupka pročišćavanja.

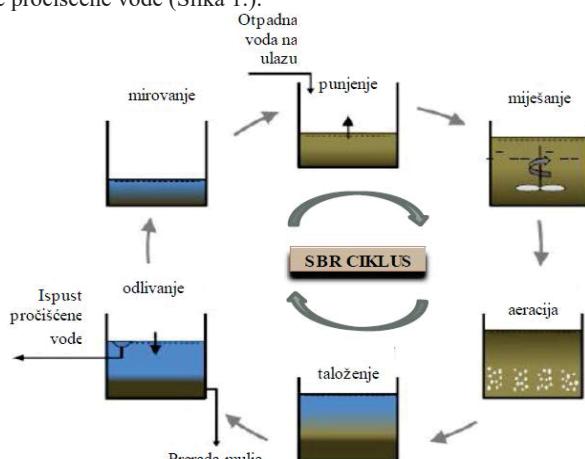
Projektiranje postrojenja za obradu otpadnih voda zahtjeva primjenu suvremenih tehnologija i tehničkih rješenja u proizvodnji i konstrukciji uredaja s pažljivo odabranim visoko kvalitetnim komponentama i pratećom opremom za kontrolu procesa. Zahtjevi se ogledaju u sljedećim

karakteristika: visoke performanse i pouzdanost, funkcionalnost i jednostavna upotreba, niski troškovi funkcioniranja i minimalni troškovi odražavanja.

MATERIJALI I METODE

SBR tehnologija

SBR (sequencing batch reactor) tehnologija, odvija se na principu diskontinuiranog postupka biološke obrade gdje se u jednom reaktoru naizmjenično odvijaju različite procesne faze obrade i to: punjenje, aerobna, anoksična i anaerobne reakcije, sedimentacija, dekantiranje pročišćene vode i odvođenje pročišćene vode (Slika 1.).



Slika 1. Tehnološka shema SBR procesa, sve faze (Šišić, 2014.)

U pogledu ugradnje biološki uređaj se mora zaštiti od smrzavanja i izravne sunčeve svjetlosti i uobičajeno se ukopavaju u zemlju. Iznad zemlje ostaje samo dio s ulaznim otvorima. Poklopci ulaznih otvora mogu biti za nepovozne ili za povozne površine. Protok zraka u bazen za prozračivanje ne smije biti ničim onemogućen. Osim SBR tehnologije danas u praktičnoj primjeni postoje sustavi *GRAF-SBR* koji pročišćavaju otpadnu vodu do 99 %. Konstruktivno mali biološki uređaji, kao što su *SBR-Aqua-Simplex* i *SBR-Klaro Easy* mogu postići i bolje rezultate pročišćavanja, a izlazni parametri su u skladu sa svim zakonskim normativima ispuštanja voda u recipijent[Graf, 2015.].

Istraživanje metoda za ocjenu i izbor uređaja

U ovom radu korištena je kvalitativno-analitička metoda SWOT i metoda komparacije. Znanstvena metoda je skup različitih postupaka kojima se znanost koristi u znanstveno-istraživačkom radu i kojom se osigurava sigurno, sređeno, sustavno i točno znanje (Zelenika,1998.). Metoda u znanosti znači način istraživanja i izlaganja postavljenog predmeta analize i općenito, označava planski postupak ispitivanja i istraživanja nekog problema ili pojave, odnosno način rada za ostvarivanje nekog cilja. U istraživanju izbora adekvatne metode ocjene SBR uređaja u radu su detaljno identificirani pokazatelji, prepoznati, označeni, vrednovani i numerirani po značajnosti, istraženi utjecajni čimbenici, postavljene veličine, indikatori ocjene, koristeći elemente iz zadatka ocjene preko praktičnih pretraživanja baza podataka i to (Šišić, 2014.):

- a) dokumentacija s grupama informacija o vrstama i obimu investicijskog plana ulaganja kupca-korisnika (projekti, studije, katalozi i dokaznice),
- b) istražena, kompletirana i ustrojena aktualna grupa podataka i informacija od proizvođača uređaja i nosilaca tehnologija obrade otpadnih voda,

- c) dokumentirano izgrađena grupa podataka o otpadnoj vodi i primijenjenim tehnologijama procesa,
- d) zaokružena grupa podataka i informacija: vanjskog radno-procesnog okruženja uređaja (S_{uf}), unutrašnjih rješenja konstrukcija elemenata i sklopova uređaja (U_{uf}) i rezultata ispitivanja uređaja (eksperimenti, testovi, simulacije i mjerjenja).
- e) grupa standarda o kvaliteti efluenta (voda i mulj),
- f) grupa zahtjeva i propisa na zaštiti životne i radne sredine (okolinski zakoni i propisi).

Ipak, u metodološkom pristupu ocjene i izbora moramo znati da veliki broj ulaznih informacija mogu odabранe metode ocjene učiniti preobimnim i komplikiranim za rad stručnjaka i specijalista u formiranom timu ispred investitora.

Prikupljanjem različitih dokumenata i dokaznog materijala, konkretnih tehničkih projektnih rješenja sustava za obradu otpadnih voda, studija izvodljivosti i studija utjecaja projektnog rješenja na okoliš, u radu su prezentirani pokazatelji ocjene koji su obrađeni u jednu cjelinu na osnovu čega su izvedeni zaključci o efikasnosti i prihvatljivosti SBR tehnologije obrade otpadnih voda u odnosu na druge standarde metode ili uređaje.

SWOT analiza omogućava sveobuhvatnost i fleksibilnost kod izbora pokazatelja ocjene i izbora uređaja čime se osigurava sigurnost izbora u dobivena rješenja jer se ostavlja vrlo malo prostora za izostanak nekog bitnog pokazatelja ili karakteristike. U suprotnom može doći do grešaka koje se mogu odraziti na validnost krajnjeg rezultata s utjecajima na donošenje odluke o izboru i nabavci uređaja. U cilju postizanja što veće objektivnosti korištena je i komparativna metoda ocjenjivanja, pomoću koje se isto tako može izabrati najbolja varijanta između više ponuđenih u tehničkoj projektnoj dokumentaciji.

REZULTATI I RASPRAVA

Istraživanje kriterija ocjene

Izbor glavnih kriterija za ocjenu uređaja, postrojenja i tehnologije pročišćavanja otpadnih voda ovisi o postavljenom cilju istraživanja i pokazatelja ocjene, kao što su: učinkovitost pročišćavanja, investicijski troškovi izgradnje, utjecaj projektnog rješenja ili uređaja na okoliš u toku izgradnje i eksplotacije, pogonski troškovi s održavanjem, jednostavnost vođenja procesa, proizvodnja viška mulja, fleksibilnost na promjene u opterećenju otpadnih voda, stupanj neovisnosti rada od klimatskih i vremenskih promjena, nastanak i širenje neugodnih mirisa i sl. Ovim putem omogućen je sveobuhvatan pristup konstruiranju prihvatljive metode ocjene uređaja ili tehnologije procesa. Osim gore datih kriterija mogu se postaviti još i dodatni, npr: količina viška mulja, stabilnost procesa vezana za zimski period rada, potrebe za stručnom radnom snagom, zahtjevi u površinama za obradu mulja i dr., a što trebaju dodatno ojačati elemente ocjene. Praktična iskustva iz oblasti obrade otpadnih voda ukazuju da ključni kriteriji ocjene i izbora tehnologije obrade otpadnih kućanskih voda imaju težinsku raspodjelu (učešće), kako slijedi (Šišić, 2014.): ekološki kriterij, 35%; investicijski kriterij, 35%; adaptabilnost uređaja, 10% i eksplotacijska sigurnost pogona (uređaja i postrojenja), 20%.

SWOT analiza i komparativna metoda ocjene SBR uređaja

SWOT analiza

SWOT analiza (autor Albert S. Humphrey) predstavlja analitičku metodu kojom se definiraju kritični čimbenici koji imaju najveći utjecaj na tržišnu poziciju poduzeća ili tržišnu konkurentnost nekog proizvoda. Obavlja se kroz matricu koju čine 4 elementa ili polja: S–snage (eng. *Strengths*), W– slabosti (eng. *Weaknesses*), O–mogućnosti (eng. *Opportunities*), T–opasnosti, prijetnje (eng. *Threats*). Snage predstavljaju pozitivne, a slabosti negativne unutrašnje čimbenike. Mogućnosti, šanse predstavljaju pozitivne, a prijetnje negativne vanjske čimbenike (Tablica 1.). Da bi se osigurali uvjeti da analiza koju provodimo bude svrshishodna, neophodno je postaviti slijedeće metodološke elemente: odrediti cilj analize,osformiti projektni tim, formiran od specijalista i stručnih osoba s idejama iz različitih područja, prikupiti podatke bitne za ostvarenje cilja istraživanja, te dati ocjenu rezultata u odnosu na postavljeni cilj.

Opisni i argumentirani skupovi pokazatelja

Sistematisirano postavljanje mjerljivih veličina ili onih koje se mogu vrijednovati, omogućava određene prilagodbe SWOT metodologije zadatku istraživanja, uz korištenje dijelova nekih drugih metodoloških pravila. Prilagođenost analizi daje uvjete primjene SWOT analize s prednostima kod izbora tipa i modela uređaja. Razrada analize počinje identificiranjem ključnih čimbenika svrstanih po elementima SWOT-a (Tablica 1.). Ovom analizom omogućeno je paralelno izvođenje eksterne i interne analize, analize slabosti i moći, analize prilika kao i niza povoljnosti i nepogodnosti, koje možemo iskoristiti za vlastita ispitivanja.

Tablica 1. Dijagram strukturnih veza sistemskog sagledavanja SWOT analize

UNUTRAŠNJE OKRUŽENJE – PROCESNI FAKTORI	
SBR uređaj	SBR postrojenje (primjenjena tehnologija obrade voda)
Proizvođač - Isporučilac	Kupac - Korisnik
VANJSKO OKRUŽENJE – EKOLOŠKI FAKTORI	

Ovako usvojen pristup zahtjeva postavljanje međusobno ovisnih utjecajnih pokazatelja ili karakteristika u četiri grupe, nakon čega proizilazi metodološko rješenje ocjene uređaja (u ovom slučaju SBR-a). U Tablici 2. dat je pregled opisnih i argumentiranih skupova pokazatelja za SWOT analizu.

Tablica 2. Pregled opisnih i argumentiranih skupova pokazatelja za SWOT analizu

S– Snage (eng. Strengths)	
SBR uređaj:	Tehnološko postrojenje:
<ul style="list-style-type: none"> - SBR sistem kombinira i aerobnu i anaerobnu fazu u jednom reaktoru, što ga odlikuje široko rasprostranjenom uporabom u procesima uklanjanja hranljivih tvari iz otpadnih voda - kako se obrada otpadne vode odvija u jednom spremniku, nema potrebe za velikim radnim površinama, - postupak obrade se može voditi aerobno, anaerobno i anoksično s ciljem postizanja zakonski određenih vrijednosti dušika i fosfora, - volumen ispunjenosti reaktora varira s vremenom, za razliku od tradicionalnih sustava sa kontinualnim protokom, - uređaj nudi ekonomičan put uklanjanja parametara čija koncentracija mora biti u okviru zakonskih propisa, - može oponašati proces produžene aeracije uz odgovarajući softver, - ciklični proces potiče rast organizama uz visoku apsorpciju organskih materija, - pogodnosti održavanja i nadzora, - visok učinak pročišćavanja vode, - veliki raspon mogućih opterećenja, - visoka pogonska sigurnost i jednostavno vođenje postupka, - povezanost i reakcija procesnih pozicija uređaja kod puštanja, zaustavljanja i zastoja u proizvodnji, - radne operacije se mogu izvoditi automatizirano. 	<ul style="list-style-type: none"> - tehnologija je pouzdana, dobro poznata u svjetskoj praksi, lako upravljiva i finansijski prihvatljiva - zauzeće prostora je također prihvatljivo, obzirom na nisku cijenu zemljišta na lokaciji. - manja potrebna površina i troškovi zemljišta lokacije, - može se izgraditi u višespratnim jedinicama, - nadogradnja uređaja se može provesti relativno jednostavno, npr. nadogradnja uređaja „u vis“ za manje povećanje opterećenja, uz jednostavnu zamjenu elektrostrojne opreme. - u istom se bazenu naizmjenično odvija ukupni proces prečišćavanja, - korištenje suvremenih PLC sustava i razvoj pouzdanijih digitalnih mjerača, - potpuna povezanost s računalom osigurava automatizirani proces te smanjuje utjecaj ljudske pogreške, - dobijeni mulj je u većem dijelu aerobno stabilizovan, neškodljiv po životnu sredinu te se kao takav može koristiti za dalje namjene, - SBR proces ima veoma visok stupanj pročišćavanja i do 99% a naročito je efikasan pri uklanjanju dušika, - povećanje kapaciteta obrade voda postojećeg sistema se lako izvodi dodavanjem novih reaktora. - po svojim gabaritima u poređenju sa drugim sistemima zauzima znatno manje prostora, - postrojenje se može projektirati za ekstremna opterećenja,

	<ul style="list-style-type: none"> - odgovarajućim dimenzioniranjem i oblikovanjem uređaja za prečiščavanje, moguće je savladati povremena vršna opterećenja bez bitnih utjecaja na stupanj pročiščavanja, - optimalni troškovi po m^3 efluenta, - modulativnost primjenjenih rješenja s kreacijom koncepta radnog procesa, - jeftiniji građevinski objekti.
Proizvodač – isporučilac:	Kupac – korisnik:
<ul style="list-style-type: none"> - ponuda prateće i pomoćne opreme u funkciji rada i održavanja uređaja, - bonitet i referentna pozicija na tržištu (pozicija) sa brojem prodatih i dokazanih u praksi, uređaja, - relativna pozicija na svjetskom tržištu u oblasti proizvodnje mašina i postrojenja (tržišno učešće i kvaliteta), - izrada izvedbene tehničke dokumentacije - prodajna mreža, marketing, distribucija i servisi, - konkurenčne sposobnosti i prednosti, - kompletost ponudbenog dokumenta (inženjering), - davanje postprodajnih beneficija kupcu u dijelu kreditiranja, servisiranja i druge podrške (finansijski resursi), - savjetodavna uloga u svim fazama projekta. 	<ul style="list-style-type: none"> - ispravan odnos prema uređaju-postrojenju, - sustavno organizirana, vođena, osposobljena i upravljački uređena obrada voda i mulja, - doprinos razvoju lokalne zajednice, - upotpunjena kooperantska interesna mreža poslovnih partnera, - organizirana učešća na sajmovima i prezentacijama - osposobljenost, vlastita ili ugovorna, za praćenje proizvodnje i kontrolu efluenta, - poštivanje ugovornih obveza, - pridržavanje zakonske regulative iz domena poslovne djelatnosti, - obim korištenja stručnih informacija i usluga, - SBR sustavi su relativno jednostavni za uporabu i ekonomski isplativi, - mogućnosti održavanja edukativnih sadržaja za studente i građane.
W – slabosti (eng. Weaknesses),	
SBR uređaj:	Tehnološko postrojenje:
<ul style="list-style-type: none"> - tehnološki uvjet: volunen postrojenja mora da zadovolji hidrauličke uvjete koji su od ključne važnosti za potrebno vrijeme reakcije za tekući mulj sa sadržajem suspendiranih tvari, - upravljanje SBR procesom zahtjeva veći nivo obučenosti osoblja nego drugih procesa (npr. procesa kontaktne stabilizacije), - otpadna voda se povremeno dovodi u biološki reaktor, iz koga se nakon ciklusa pročiščanja u potpunosti prazni (efikasnost pražnjenja), - potreba praćenja odgovarajuće aeracije i pretakanju povratnog mulja, što se postiže uključenjem mjerne tehnike za automatizovano praćenje parametara ciklusa (ulaganja i održavanje), - faza taloženja je obilježena uvjetima mirovanja, nema dotoka influenta, nema aeracije niti mijenjanja, - u slučaju da je konstruisan samo jedan SBR bazen, potreban je i bazen za ujednačavanje dotoka koji će primiti i zadržati dolazeće otpadne vode u toku perioda taloženja, odlijevanja i mirovanja. - pojava neugodnih mirisa. 	<ul style="list-style-type: none"> - kompleksan rad, obično zahtjeva kompjutersko upravljanje, zahtjeva poznavanje softvera za podešavanje procesa kada se mijenjaju karakteristike influenta, - vrijeme ciklusa može biti duže pri niskom protoku, koje zahtjeva dugu aeraciju tokom ciklusa punjenja, - potreban poseban dekantator, - intenzivno korištenje ventila, - visok nivo održavanja, - potrebna veća visina pumpanja na ulazu da bi se pokrili operativni nivoi dekantatora, - na uređaju za prečiščavanje, odnosno na liniji za tretman mulja, za očekivati je manju pojavu neugodnog mirisa, potrebna izgradnja sistema ventilacije i pročiščavanja zraka. - nužan retenzioni bazen ispred šaržnih bioreaktora radi izmjena faza u toku ciklusa i izjednačavanje dotoka, - nije moguće upravljati procesom sa aktivnim muljom pod zadatim uvjetima bez automatske kontrole sistema - aktivni mulj se taloži na dnu uređaja, a iznad mulja nastaje sloj čiste vode. Ova faza je važna zbog brzine taloženja mulja. Ako se mulj ne taloži dovoljno brzo, može izaći zajedno sa efluentom u slijedećoj fazi te smanjiti kvalitetu efluenta, - poremećaji kod neplaniranog nestanka električne energije (vanjsko napajanje).

Proizvodač – isporučilac:	Kupac – korisnik:
<ul style="list-style-type: none"> - nepostojanje mreže servisa i skladišta rezervnih dijelova (mobilnost dopreme i dolaska stručnih lica - servisera), - neprihvatanje vlastitih pogreški kod ugovaranja a na štetu kupca ili neispunjene dijela preuzetih obveza, - visoka i nekonkurentna cijena proizvoda, - nepotvrđena praktična primjenljivost uređaja ili postrojenja (neuvajavanje reklamacije), - tehnička nesposobnost nadogradnje ili unaprjeđenja vlastitog ind. proizvoda. 	<ul style="list-style-type: none"> - slabljenje ekonomске snage sa porastom dugova, - needuciranost vlastitih kadrova, - neizvršavanje ugovornih obveza prema proizvođaču uređaja i kupcima, - nepovoljan ambijent i okruženje, - nemaran odnos ka ukupnom sustavuobrade otpadnih i oborinskih voda, - gubljenje motivacije radnika na održavanju.
O– mogućnosti (eng. Opportunities)	
SBR uređaj: <ul style="list-style-type: none"> - definiranjem i korištenjem osnova stehiometrije na način koji omogućava komparativnu procjenu s kontinualnim protokom aktivnog mulja, što daje mogućnost sistemskog pristupa za projektiranje i modeliranje SBR sistema za uklanjanje dušika, - šaržni bioreaktori mogu se projektirati tako da se njihov rad zasniva na ujednačenom dotoku ili na neprekidnom radnom ciklusu. Rješenje zasnovano na ovom principu ima široku primjenu u praksi jer omogućava transparentnost u toku rada, - pogodnosti za dodatna tehnička unaprijeđenja sa nadogradnjom mjernih i regulacionih uređaja (tehnička dijagnostika), - sposobna da sa manjim unaprijeđenjima ostvaruje dobru učinkovitost, propraćenu sa kvalitetom efluenta. 	Tehnološko postrojenje: <ul style="list-style-type: none"> - uspjeh SBR tehnologije zavisi od veličine potencijala koji pruža mogućnosti utjecaja na mikroorganizme u SBR sistemu, - stečena iskustva ukazuju da su SBR sistemi kvalitetna alternativa kontinualnim sistemima za tretman otpadnih voda kao i za uklanjanje organskih tvari i dušika, - pojavom savremenih PLC kontrolera ovi sustavi su otklonili ranije nedostatke i postali jedno od najefikasnijih rješenja za pročišćavanje otpadnih voda srednjih kapaciteta, - proces je dimenzioniran na način da se omogućuje regulacija kod slučajeva varijacija parametara protoka, - SBR proces je vrlo prilagodljiv proces, - ugradnja nove automatike i uređaja na povećanju proizvodnosti i sigurnosti upravljanja i nadzora, - moguća procesna prilagođavanja rada nekog modula neovisno od ostalih.
Proizvodač – isporučilac: <ul style="list-style-type: none"> - intenzivnije praćenje i interesovanje za kvalitet pročišćene vode (inspekcijski nadzor), - rad na istraživanjima novih konstrukcija uređaja i poboljšanje tržišne pozicije, - stalna ponuda inovativnih rješenja, - podrška korisnicima uređaja u rješavanju procesnih problema sa ponudom rješenja, - mogućnost zamjene uređaja po principu "staro za novo", - davanje pogodnosti stalnim i poznatim kupcima. 	
T–opasnosti, prijetnje (eng. Threats)	
SBR uređaj: <ul style="list-style-type: none"> - tehnički postupak je naizmjeničnog punjenja i pražnjenja reaktora, tj. diskontinualni postupak biološke obrade otpadnih voda, - male tehničke mogućnosti optimizacije procesa, - rad uređaja sa nekontrolisanim masenim količinama (diskontinualnost protoka masa), - utjecaj prekomjernog sadržaja zagađivala a time i „nemogućnost“ prilagodbe uređaja kvalitetnim procesnim operacijama 	Tehnološko postrojenje: <ul style="list-style-type: none"> - problemi sa manipulacijom mulja i njegovim odvodnjavanje, - urbaniziranost sa blizinom lokacije rada naseljima, - moguće devijacije u kvaliteti efluenta, - smanjenje procesnih efekata kod niskih temperatura, - otežano održavanje sa nabavkom rezervnih dijelova, nepostojanje servisa, - skučenost prostorom za manipulaciju i opravke. - neodgovarajuća aeracija i neuređeno pretakanje

pročišćavanja, - učestalo otkazivanje ili otežano podešavanje upravljačko-regulacionih mjernih pretvarača, - sistemski poremećaji i stvaranje nepovoljnih radnih uvjeta.	- povratnog mulja (postiže se automatizacijom praćenja parametara ciklusa).
Proizvodač – isporučilac: - neispunjavanje dijela ugovorenih obveza prema kupcu, - neekspeditivna i neučinkovita postava osoblja u servisnim mrežama, - loše postavljeni ugovorni i partnerski odnosi i nepovjerenje, - "poslovna nebriga" za isporučen proizvod, - neuvažavanje reklamacija, - bankrot firme ili poremećaji u poslovanju.	Kupac – korisnik: - neodgovarajući odnos prema uređaju ili postrojenju, - nepridržavanje termin planova održavanja i kontrole, - neblagovremeno uočavanje problema i intervencije na otklanjanju istog, - nezadovoljstvo uposlenih organizacijom i naknadama za rad, - nemogućnost praćenja izdataka na održavanju, neizdvajanje amortizacionog iznosa ili drastičan pad ulaznih količina otpadnih voda.

U operativnoj razradi SWOT analize postavljeni su istraživački koraci (Slika 2.):

- ✓ u prvom koraku izvršena je identifikacija pojavnih oblike unutrašnjih i vanjskih potencijalnih snaga, slabosti, vanjskih prilika i prijetnji. Različitost pojavnih oblika ovisna je od specifičnosti vrsta i tipova uređaja kao i glavne procesne opreme.
- ✓ u drugom koraku formirane su četiri alternativne strategije SWOT matrice. U svakoj strategiji u određenom polju predstavljene su 4 komponente i to: SBR uređaj, tehnološko postrojenje, proizvodač i kupac/korisnik, što omogućava simetričan prolaz kroz matricu u ovisnosti koju komponentu analiziramo, te koji metodološki pristup želimo: parcijalan ili kompletan.

I metodološki korak

Izrada i provedba strategija, kako slijedi:

Unutarnji čimbenici ⇒ Eksterni čimbenici ↓	Snage (S) → spisak od 5 do 10 unutrašnjih snaga	Slabosti (W) → spisak od 5 do 10 unutrašnjih slabosti
Šanse (O) → spisak od 5 do 10 vanjskih prilika	SO strategija Strategija koje koristi snage da bi iskoristile prednosti koje pružaju vanjske prilike.	WO strategija Strategija koje koristi prednosti vanjskih prilika da bi se prevladale unutrašnje slabosti.
Prijetnje (T) → spisak od 5 do 10 vanjskih prijetnji	ST strategija Strategija koje koristi snage da bi se nosilo sa prijetnjama ili da bi se one izbjegle.	WT strategija Strategija koje minimizira slabosti i izbjegava prijetnje.

Slika 2. Model operativne razrade SWOT analize, strateški pristup

II metodološki korak

⇒ Početak: **A zadaci kupca/korisnika:**

- ✓ definiranje projektnog zadatka ocjene,
- ✓ formiranje grupe stručnjaka za rad na matrici po područjima užih specijalnosti ili stručnosti, sa utvrđivanjem uloge tima, načinom rada, zadacima i rokovima predmetne analize,
- ✓ postavljanje kriterija izbora učesnika (proizvodača) u analizi iz područja proizvodnje uređaja i opreme iz djelatnosti obrade voda i nosilaca tehnologije,
- ✓ izbor i upoznavanje najmanje tri učasnika.

⇒ Prethodi: **B zadaci stručnog tima:**

- ✓ konstituiranje stručnog tima sa izradom pravila ponašanja i odgovornosti svakog od učesnika,
- ✓ obrada projektnog zadatka nabavke maštine ili postrojenja sa pratećom dokumentacijom,

- ✓ određivanje početnih pozicija i pravaca ocjene i izbora: oblik, obim i vrsta investicionog ulaganja, tehnička karakterizacija uređaja ili postrojenja sa vizijom budućih rješenja, pregled tehnoloških procesnih sadržaja obrade, uvid u pripremne radove investicionog projekta, vremenska komponenta trajanja poslova po analizi.
- ✓ zapisničko vođenje aktuelnosti sa zajedničkih sastanaka, izrada dinamičkog plana rada sa troškovima tima.

⇒Slijedi: **C zadaci stručnog tima i kupca:**

- ✓ prezentacija rezultata analize uz dostavu dokumentacije kupcu/investitoru,
- ✓ donošenje odluke o izboru na odgovarajućem nivou uz mogućnost uključenja u nastavku projekta, nekih od učesnika u analizi.

Analiza dobivenih rezultata

SWOT matrica omogućava postavljanje, razvrstavanje i grupiranje pokazatelja sposobnosti, pozicioniranja i radnih sposobnosti uređaja pema različitim tehnologijama obrade otpadnih voda kao i prema specifičnostima zahtjeva kupaca-investitora. SWOT analiza omogućava selektivan prikaz pozicije proizvoda i korisnika uređaja i primjenjene tehnologije procesa sa tretmanom mulja. Omogućeno je rangiranje parametara po značajnosti i selektivnosti sa elementima eliminacije. SWOT matrica, kao metodološko rješenje ocjene uređaja (u ovom slučaju SBR-a), može se primjeniti kod ocjene bilo kojeg drugog uređaja ili postrojenja za obradu otpadnih voda, pročišćavanje zraka i dr.

Komparativna metoda

Metoda komparativne analize jedna je od najstarijih analitičkih metoda. Osnovni koncept ove analize jest uspoređivanje interesnih podataka između više odabranih predmeta analize. Pokazatelji se obično promatraju kao nosioci informacija koji su potrebni za donošenje odluka. Za izbor optimalne tehnologije pročišćavanja otpadnih voda projektu kuća „Ibis“ Zavidovići koristila je pojednostavljenu komparativnu analizu sa više kriterija uzimajući 3 vrste tehnologija obrade i to: SBR uređaj, biofilm-bioreaktor i biorotor-biodisk, sa prikazom ocjena u vidu prednosti i nedostataka odabranih tehnologija (Tablica 3.).

Tablica 3. Usporedba varijanti za izbor optimalne tehnologije pročišćavanja

Kriterij	SBR/diskont. proces	Biofilm/bioreaktor	Biorotor/biodisk
Stabilnost kvaliteta euflenta	5	3	3
Količina viška mulja	3	3	4
Jednostavnost izvedbe	5	4	3
jednostavnost nadogradnje	5	4	4
Jednostavnost upravljanja	5	4	4
Stabilnost procesa vezana za promjenljivost protoka otpadne vode	5	2	2
Efikasnost rada u slučaju kvara ključnog dijela opreme	3	2	1
Mogućnost nastanka neugodnih mirisa	4	3	3
Zauzeće prostora	5	5	5
Jednostavnost održavanja	4	4	5
Ukupno	44	34	34
Prosječno	4,4	3,4	3,4

Ocjene: 1- loše, 2- dovoljno, 3- dobro, 4- vrlo dobro, 5- odlično.

Na primjeru izbora tehnološkog rješenja pročišćavanja otpadne vode NC „Grmeč“ Biotehničkog fakulteta u Bihaću, od strane firme „Ibis“ Zavidovići uzeti su sljedeći kriteriji: efikasnost pročišćavanja, pouzdanost rada kod neravnomjernog opterećenja, potrebna površina, cijena pročišćavanja, uklapanje u postojeći sistem i utjecaj na okoliš.

Usporedbi prednosti i nedostataka produžene aeracije uz biološko otklanjanje N i P, reaktora s cikličnim odvijanjem procesa (SBR) je prikazano u sljedećoj tablici kroz prikaz evaluacije prednosti i nedostataka ova dva procesa (Tablica 4.):

Tablica 4. Pregled ocjene usporednih tehnologija

Producena aeracija (PA) uz biološko otklanjanje N i P	Reaktor s cikličnim odvijanjem procesa SBR uz biološko otklanjanje N i P
Prednosti	Prednosti
<ul style="list-style-type: none"> - stabilan proces u slučaju ekstremnih opterećenja - stabilnija temperatura zbog velikih bioloških bazena - lak za upravljanje - nisko održavanje - manja vjerovatnost da izazove neugodne mirise. 	<ul style="list-style-type: none"> - manja potrebna površina i troškovi zemljišta, - jeftiniji građevinski objekti - može se izgraditi u višespratnim jedinicama - može oponašati proces produžene aeracije uz odgovarajući softver, - ciklični proces potiče rast organizama uz visoku apsorpciju organskih materija, - može se projektirati za ekstremna opterećenja.
Nedostaci	Nedostaci
<ul style="list-style-type: none"> - zahtjeva odvojen finalni taložnik, - skuplji građevinski objekti. 	<ul style="list-style-type: none"> - kompleksan rad, obično zahtjeva visok stupanj automatizacijskog upravljanja (veća ulaganja), - zahtjeva poznavanje softvera za podešavanje procesa kada se mijenjaju karakteristike influenta, - vrijeme ciklusa može biti duže pri niskom proticaju, koje zahtjeva dugu aeraciju tokom ciklusa punjenja, - potreban poseban dekanter, obično patentiran, - visok nivo održavanja, - intenzivno korištenje ventila, - potrebna veća visina pumpanja na ulazu da bi se pokrili operativni nivoi dekantatora.

Rezultati komparativne analize pokazuju napredak u pokazateljima konkurentnosti za posmatrane uređaje, ali istovremeno i zaostajanje jednih proizvođača ili jedne tehnologije u odnosu na druge (konkurentska pozicija).

ZAKLJUČAK

Prikupljanjem raznih dokumenata i dokaznog materijala, tehničkih projektnih rješenja sustava za pročišćavanje otpadnih voda, studija izvodljivosti i studija utjecaja projektnog rješenja na okoiloš prikupljeni su podaci i obrađeni u jednu cjelinu na osnovi čega su izvedeni zaključci o efikasnosti i prihvatljivosti metoda ocjene i izbora SBR uređaja ili SBR tehnologije.

Procesi obrade otpadnih voda, a u njima odabrani uređaji, čine procesno postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda, uključuju najbolje dostupne tehnike (eng. *Best Available Techniques - BAT*) [Anon., 2015.], te daju mogućnost djelimičnog i potpunog tretmana otpadnih voda u budućnosti, omogućuju fleksibilnost SBR sistema, ima minimalnu potrošnju kemikalija tokom procesa pročišćavanja, samim tim potencijal korištenja stabiliziranog mulja kao gnojiva u poljoprivredi, predstavljaju samo neke od prednosti ove tehnologije.

SWOT matrica omogućava postavljanje, razvrstavanje i grupiranje pokazatelja sposobnosti, pozicioniranja i radnih sposobnosti uređaja pema različitim tehnologijama obrade otpadnih voda. Omogućen je selektivan prikaz pozicije proizvođača i korisnika, uređaja i primjenjene tehnologije procesa sa tretmanom mulja te rangiranje parametara po značajnosti i selektivnosti sa elementima eliminacije. Na današnjem nivou praktičnih iskustava, primjenljivost SWOT matrice za ocjenu SBR uređaja treba dopunski istražiti, iz slijedećih razloga:

prvi -ne ulazi u tehnologiju procesa pročišćavanja čime ne može kvalitetno definirati mjerljive pokazatelje,

drugi -veliki broj karakteristika i podataka je vezan za uređaj, kao tržišni proizvod, za uređaj kao proizvodnu jedinicu ili kao poziciju tehnološkog sistema, za uređaj u ponudbenoj dokumentaciji, u proizvodnji, uređaj u projektima modernizacije, revitalizacije, rekonstrukcije i novogradnje.

Rezultati predstavljene komparativne analize produžene aeracije uz biološko otklanjanje N i P i reaktora sa cikličnim odvijanjem procesa (Tablica 4) ukazuju na postojanje napretka u pokazateljima konkurentnosti za promatrane uređaje, ali istovremeno i zaostajanje jednih proizvođača ili jedne tehnologije u odnosu na druge (konkurenčku poziciju). U operativnom pogledu komparativna metoda ne daje značajniju prednost određene tehnologije u odnosu na druge tehnologije. Jedno od pravila kod nabavke uređaja ili izbora tehnologije obrade otpadnih voda je da je najkvalitetnija tehnologija ona koja je i najskuplja. Ipak ključne prednosti izabrane tehnologije jest niža cijena i jednostavnost izvedbe i upravljanja, dokazana eksploataabilnost i pouzdanost sustava kao i održavanja.

Ipak, u metodološkom pristupu moramo znati da veliki broj ulaznih informacija mogu odabranne metode ocjene učiniti preobimnim i komplificiranim za rad stručnjaka i specijalista u timu.

LITERATURA

- Environmental Protection Agency-Office of Water Washington (1999):Wastewater Technology Fact Sheet Sequencing Batch Reactors, United States, D.C. EPA 832-F-99-073.
- Ibis d.o.o. Zavidović (2013): Idejno rješenje rekonstrukcije postojećeg sistema obrade otpadnih voda nastavnog centra „Grmeč“.
- Ibrahimpašić, J., Šišić, I., Makić, H. (2014): Studija o ocjeni moguće obrade laboratorijskih otpadnih voda u biljnog uređaju i kompatibilnost sa novoprojektovanim rješenjem SBR tehnologijom, Biotehnički fakultet Bihać.
- Proning DHI d.o.o. Zagreb (2013): Studija izvodljivosti sustava odvodnje i pročišćavanja aglomeracije Betina-Murter.
- Šišić, I., Ibrahimpašić, J., Makić, H. (2014): Studija o procjeni uticaja na okoliš odabrane SBR tehnologije prečišćavanja otpadnih voda Nastavnog centra Grmeč, Biotehnički fakultet Bihać.
- Šišić, I., Ibrahimpašić, J., Rekanović, S., Toromanović, M. (2014): Ocena izbora novog projektnog rješenja sistema odvodnje i obrade otpadnih voda NC „Grmeč“. II naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem „5. Juni Svjetski dan zaštite okoline“, Zbornik sažetaka radova ISSN 2303-5889 str. 45.
- Šišić, I., Perviz, O., Kozlica, S. (2009): „Principijelno rješenje praćenja sistema obrade otpadnih voda nastavnog centra „Grmeč“, 6. Naučno-stručni skup sa sa međunarodnim učešćem „Kvalitet 2009“ ISSN 1512-9268, str 547-552 Neum, B&H.
- Tušar, B. (2009): Pročišćavanje otpadnih voda, Kigen,GZH Zagreb.
- Zelenika, R. (1998): Metodologija i tehnologija izrade znanstvenog i stručnog djela, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci.
- Zelenika, R., Zelenika, S. (2006): Klasifikacija znanosti u fokusu metodologije i tehnologije znanstvenoga istraživanja, ISSN 0554-6397 UDK 001.89 Pomorski zbornik 44(2006)1, 11-39.
- http://www.elni.org/fileadmin/elni/dokumente/elni_forum/2010/Pres_LesleyJames.pdf (travanj 2015)
- http://www.pfst.hr/uploads/Metodologija_znanstveno-istraživačkog_rada - prilog_predavanju_4.pdf (lipanj 2015).
- <http://www.acronymfinder.com/Best-Available-Technique-%28BAT%29.html> (preuzeto srpanj 2015).
- <http://www.rainwaterharvesting.co.uk/downloads/graf-wastewater-treatment.pdf> (preuzeto lipanj 2015).

GOSPODARENJE VODAMA NA PODRUČJU PARKA PRIRODE „BLIDINJE“

M. Zelenika^{1,2}, B. Soldo³, L. Gotal Dmitrović³

¹Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, Matice hrvatske b.b., 88 000 Mostar, BiH

²Geofizika d.d. Zagreb, Savska 64, 10 000 Zagreb, Hrvatska

³Odjel za graditeljstvo, Sveučilište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin, 104 brigada 3, Varaždin, Hrvatska

SAŽETAK

Jezero Blidinje se nalazi na jugozapadnom dijelu Dugoga polja i predstavlja fokalnu točku Parka prirode „Blidinje“ (PPB). Ovaj Park prirode obuhvaća planine Vran zapadniji i Čvrsnicu - istočniji dio PPB, koje spadaju među najviše planine Dinarskog sustava. Područje PPB odlikuje se prostranim visoravnima, visokim oštrim planinskim grebenima i vrhovima, brojnim spiljama, prekrasnim krajolicima, vrijednim endemskim biljkama i glečerskim jezerima. Kanjoni rijeka: Doljanke, Dive Grabovice, Drežanke i Neretve mogu se izdvojiti kao posebno impresivni i zanimljivi prostori, što je samo dio prirodnih ljepota ovoga Parka prirode. Zato PPB ima veliko ekološko, turističko-rekreacijsko i edukacijsko značenje za pučanstvo u Bosni i Hercegovini, Republici Hrvatskoj i brojnim posjetiteljima koji uživaju u sportovima na sijegu te drugim turistima koji posjećuju ovaj Park tijekom svojih posjeta poznatom marijanskom svetištu u Međugorju i turističkim odredištima na Jadranskom moru.

Javno poduzeće PPB osnovano je radi nužne zaštite i čuvanja vrijednih krajolika, vidikovaca, prirodnih odlika tla, vode, zraka, flore i faune respektirajući ekološku stabilnost u zakonski omeđenom i rijetko očuvanom prirodnom prostoru National Environmental Action Plan (NEAP) (2003). Ravnateljstvo PPB uspješno obavlja svoju zadenu ulogu uključujući i kontrolu gradnje kuća za odmor, čiji se broj neprekidno povećava pa je nužna njihova opskrba vodom i zbrinjavanje tamo nastalog krutog otpada te otpadnih voda. Poboljšanje gospodarenja vodama tj. opskrba vodom, prikupljanje i zbrinjavanje krutog otpada te korištenih voda (odvodnja) u PPB, glavna je tema ovog rada.

KLJUČNE RIJEČI: Blidinje; gospodarenje otpadom; vodopskrba; odvodnja

UVOD

PPB se nalazi na području davne Župe Večerić - najvećih dijelova distrikta Drežnice i Planine (Slika 1) uključuje Dugo polje s jezerom Blidinje (Slika 2), Vran i Čvrsnicu planine, proglašeno je 1995. g. Parkom prirode „Blidinje“ (PPB) na površini od 358 km². Jezero Blidinje se prostire na jugozapadnom dijelu Dugoga polja i predstavlja fokalnu točku ovoga PPB (Slika 2).

Spomenute planine su ujedno među najvišim planinama Dinarskog sustava, odlikuju se prostranim visoravnima, visokim oštrim planinskim grebenima i vrhovima, te s više glečerskih jezera na Čvrsnici, brojnim spiljama i krajolicima, koji su samo dio prirodnih ljepota. Taj prostor dijelove triju općina: Posuđe (Zapadnohercegovačka županija), Tomislavgrad (Herceg-bosanska županija) i Jablanica (Hercegovačko-neretvanska županija).

PPB se nalazi u regiji visokog krša, omeđen je sa sjevera rijekom Doljankom, s istoka Neretvom i s južne strane rijekom Drežankom. Ove rijeke teku kroz tri najdublja kanjona u Europi (Musa, 2005). Zapadni dio PPB čini Vran planina. PPB ima veliko ekološko, turističko-rekreacijsko i edukacijsko značenje za pučanstvo spomenute tri županije, Republiku Hrvatsku, Bosnu i Hercegovinu, brojne skijaše i druge turiste. Kanjoni Doljanke, Dive Grabovice, Drežanke i Nerete mogu se izdvojiti kao posebno impresivni i zanimljivi prostori (Slišković i Zelenika, 1998).



Slika 1. Zemljovid davne Župe Večenić (Vego, 1937)



Slika 2. Panorama jezera Blidinje – fokalnog fenomena PPB (Foto: Soldo, B)

NEAP (2003) predstavlja strategijski programski dokument u kojem su naglašene slijedeće prioritetne aktivnosti vodstva PPB: zaštita od degradacije i oštećivanja prirodnog okoliša, zaštita biološke i krajobrazne raznolikosti, održiv gospodarski razvoj, održivo gospodarenje zalihamama

vode, korištenja pašnjaka i ostalog prirodnog okoliša u PPB, suvremeno gospodarenje/zbrinjavanje krutog otpada uz razvrstavanje, recikliranje i zbrinjavanje tamošnjeg krutog otpada, pročišćavanje i recikliranje otpadnih voda, hitno razminiranje ev. miniranih površina i unapredjenje javnog zdravstva, edukacija realizatora ove strategije i pučanstva, te praćenje napretka koristeći odgovarajući informacijski sustav. Ovim dokumentom je predviđeno 15-20% teritorije BiH štititi odgovarajućim režimom javno proglašene zaštite cjelokupne površine BiH. Danas je u BiH proglašena javna zaštita samo 3% teritorija (Mandić i Rezo, 2005).

Javno poduzeće PPB osnovno je 1995. g. radi nužne zaštite i čuvanja prirodnih odlika tla, vode, zraka, flore i faune respektirajući ekološku stabilnost u zakonski omeđenom rjetko očuvanom prostoru. Pored brojnih teškoća u PPB izgrađena su pojilišta i hramilišta za divljač, osigurana hrana za prihranjivanje divljači, utemeljena nadzorna služba i u velikoj mjeri sprječen krivolov i sjeću drveća. Zbog teškoća pokrivanja nužnih troškova PPB, počele su se tolerirati gospodarske aktivnosti manjeg obima, uključujući sportsko-rekreacijsku, ugostiteljsku i graditeljsku djelatnost (Mandić i Rezo, 2005). Na području PPB izgrađeno je veće i manje skijalište, vikend naselje s uredenim povrtnjacima, više ugostiteljskih i nekoliko javnih objekata. Tako je stvorena potreba za sustavnom opskrbom električne energije i vode te za sakupljanje, odvoženje i zbrinjavanjem krutog otpada i fekalnih voda. Veličina vikend naselja i potreba hitnog poboljšanja sustava opskrbe vodom za piće te sustavom odvodnje, glavna je intencija pisanja ovog rada.

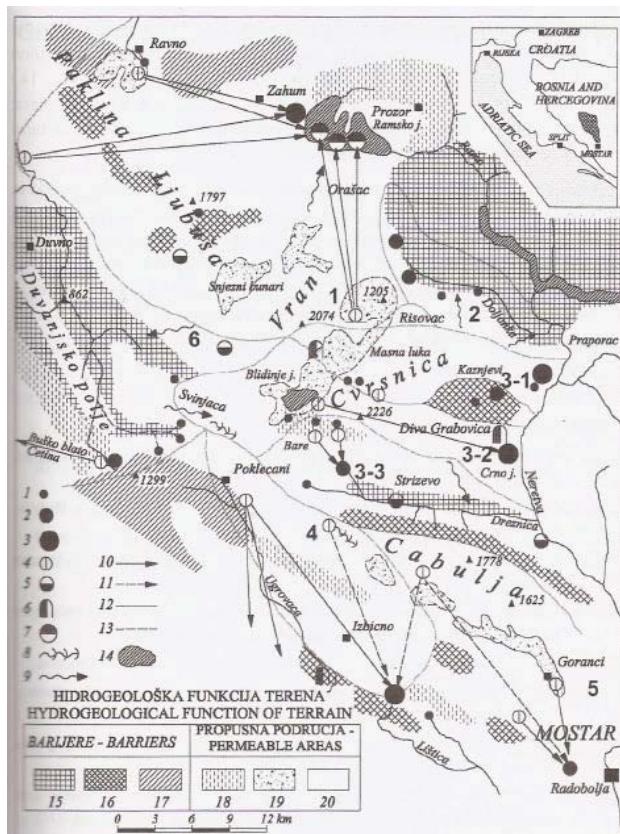
GEOMORFOLOŠKE ODLIKE PPB

PPB prostire se na tri geomorfološke celine na desnoj strani rijeke Neretve: Vran planina, Dugo polje i planina Čvrsnica (Slika 3). Ovaj Park obuhvaća prekrasne kanjone rijeka Drežanke, Neretve, Dive Grabovice, Doljanke i Rame (Slišković i Zelenika, 1998). Odnos tektonskih jedinica najjasnije i najvjerojatnije prikazuju rezultati istraživanja dr.sc.Josipa Papeša, koja je prezentirao u svome rukopisu: Tektonska grada teritorija SR Bosne i Hercegovine (Papeš, 1988). Taj rukopis sadrži elaborirane brojne priloge s jasnim korisnim shemama, koje ilustriraju vrijedne poprečne profile, neogene bazene i 30-tak tektonskih jedinica. Papešov rad sadrži popis svih važnih rasjeda do dubine Moho diskontinuiteta. Dinarsku tektonsku jedinicu izgrađuju trijaske, jurske, kredne i tercijarne naslage, koje su vidljive u dolini Drežanke, gdje je utvrđen imponzatan rasjed, na kojem je vidljiv najmarkantniji mezozojski profil u Europi.

Trijaske, jurske i kredne naslage u kanjonu Drežanke vidljive su u intervalu od 1 000 do 1 500 m dubine, što predstavlja jedinstveni otvoreni profil cjelokupnog mezozoika u Europi (Musa, 2005). U ovoj tektonskoj jedinici su strukture pružanja u smjeru zapad-istok ili sjeverozapad-jugoistok.

Planina Čvrsnica ima najviši vrh u BiH (Pločno 2 228 m) i spada u red najljepših planina središnjeg dijela sliva rijeke Neretve (Slišković i Zelenika, 1998). Čvrsnica zauzima veliki prostor između rijeka Rame, Doljanke, Neretve i Drežanke te Dugog polja. Glavni pravac pružanja je dinarski, ali ima više dijelova, koji su hrptovi, grebeni, zaravni i kanjoni koji često odstupaju od dinarskog pravca pružanja. Krajnji sjeverni dio Čvrsnice zove se Muharica, istočno od Muharice je Plasa, a na zapadu prema kanjonu Drežanke nalazi se Mala Čvrsnica. Uz samo Dugo polje je Velika Čvrsnica s hrptom svinutim u luku prema jugu (Musa, 2005).

U njenom najvišem hrptu nalaze se vrhovi od preko 2 000 m visine: Pločno 2 228 m, Veliki Vilinac 2 118 m i Drinača 2 038 m. Planine Čabulja i Čvrsnica (Slika 3) čine jedinstvenu boru poremećenu rasjedom, koja se prostire dolinom Drežanke, gdje je otkriveno tjeme antiklinale izgrađene od trijaskih dolomita, lijaskih, dogerskih i malmskih vapnenaca. U krilu antiklinale je zaravan Čabulje izgrađena od donjokrednih i gornjokrednih vapnenaca, dok se u Goranačkoj sekundarnoj sinklinali nalaze paleogenske naslage. Sjeverno krilo antiklinale predstavljeno je planinom Čvrsnicom, gdje prelazi u blagu sinklinalu u čijoj je jezgri donjokredni vapnenac i orbitolinski dolomit. Ova sinklinala prelazi sjevernije u novu antiklinalu, koja je u rasjednom odnosu sa sjevernim jedinicama (Musa, 2005). Planina Vran čini antiklinala, koja se od planine Lip prostire na sjeveroistok. Planina Vran je orijentirana okomito na dinarski smjer pružanja, a nastala je duž rasjeda kojim je jugoistočni dio planine izdignut iznad Dugog polja.



Slika 3. Hidrogeološki prikaz povezanosti ponora i izvora vode na širem području PPB
 (Slišković, Zelenika i Kovač, 2005)

Legenda: 1 - krški izvor manji od 10 l/s, 2 - krški izvor 10 do 100 l/s, 3 - krški izvor veći od 100 l/s, 4 - ponor, 5 - povremeni izvor, 6 - spilja s vodom, 7 - potopljeni izvor, 8 - ponorna zona, 9 - povremeno otjecanje površinskih voda, 10 - bojanjem utvrđena podzemna veza, 11 - predpostavljena podzemna veza (ponora i izvor), 12 - površinska i podzemna razvodnica, 13 - zonarna razvodnica, 14 - jezero, 15 - potpuna hidrogeološka barijera, 16 - podzemna dubinska barijera, 17 - relativna podzemna brijera, 18 - nepotpuna viseća barijera, 19 - kvartarni propusni sedimenti, 20 - propusna područja

Zaravni su dobro disecirane jer su se višestruko izdizale, rasjedale, drobile, lomile i stvorile velike urušene ponikve na jugoistočnoj strani samog vrha Pločno. Dugo polje je između Vrana i Čvrsnice, pruža se okomito na dinarski smjer, nastavlja submontanom udolinom Risovac, koja je tektonsko-akumilacijskog tipa i morfološki prestavlja završetak Dugog polja.

O postanku zaravni Dugo polje postoji više hipoteza, od kojih se u novije vrijeme prihvata teorija Heraka, Prelogovića i Bognera, koji zaravne definiraju kao dijelove mezozojske karbonatne platforme, koji su više puta pomicani i tako stiskani i drobljeni (Musa, 2005). Zato su rijetki stalni površinski vodotoci, jer se voda infiltrira u tlo i teče podzemnim kanalima. Složen morfotektonski razvoj naslaga u PPB odlikuju epirogeni pokreti, boranje, rasjedanje, navlačenje u kombinaciji s vanjskim morfološkim procesima, što je uvjetovalo oblikovanje izuzetno diferenciranih reljefnih struktura.

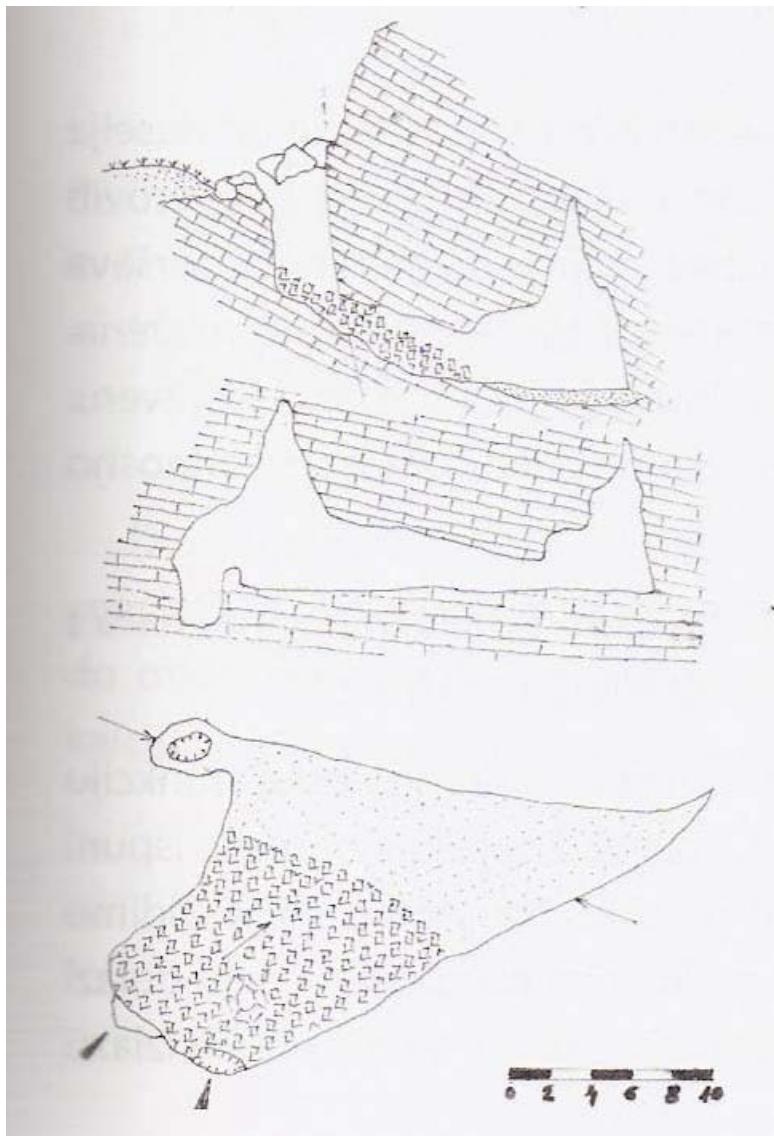
Važno je spomenuti izdvojeno manje krško polje BRČANJ, površine 2 km^2 , koje se nalazi na krajnjem sjeveroistoku Dugog polja na koti od 1 200 m. Poljem Brčanj teče rječica Brčanjka, koja izvire na istoku polja i ponire na jugozapadnom rubu polja Brčanj. Ovo polje ima sve odlike tipičnog krškog polja (Slika 4) uključujući vrijedan plitki podzemni vodonosnik, koji je preporučen za kaptiranje i zaštitu od onečišćenja radi opskrbe vodom PPB (Slišković i Zelenika, 1998.). Od Brčanj polja prema jugozapadu, Dugo polje ima boginjasto okršeni izgled dijela površine, koji se zove Hrbine. Na Hrbine se nastavlja Rudo polje, Gornje i Donje Badnje, a istočno od Badnja, nalazi se izdvojena zatvorena krška dolina - Masna Luka. U Masnoj Lici se nalazi nekoliko stalnih izvora od kojih su izvor Jasle i Fratarsko vrelo (Slika 5) najveće izdašnosti. Dugo polje na svom krajnjem jugozapadnom dijelu ima ravniju površinu, gdje je nastalo jezero Blidinje (Slika 2) na približnoj koti od 1 200 m. U ovom dijelu Dugog polja nalazi se uski prijevoj Zelena kosa koja se diže na kotu 1 294 m, a izgrađena je od morenskog materijala i povezuje Dugo polje s tipičnim krškim poljem Svinjača 17 km^2 površine. Svinjača se pruža pravcem sjeverozapad-jugoistok, a njezine su dolinske strane tektonski predisponirane Lip planinom izdignutom rasjedom na južnoj strani i Vran planinom na njenoj sjevernoj strani. Polje Svinjača je okršeno na svome dnu, gdje se nalazi veliki broj ponikvi pa se ne pojavljuju površinske vode.



Slika 4. Krško polje Brčanj s riječicom Brčanjkom

POJAVE ŠPILJA U PPB

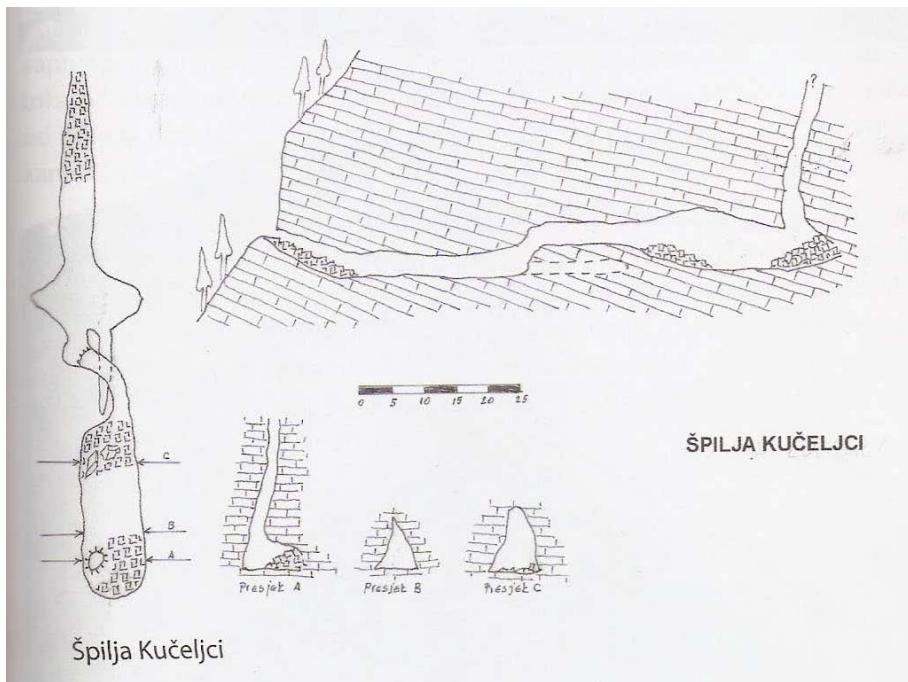
Marinčić i Karačić (2005) objavili su rezultate svojih istraživanja dviju od četiri poznate spilje na zapadnom rubu Dugog polja, u podnožju Vran planine. Tako je istražena čuvena Mijatova pećina i spilja Kučeljci (slike 5 i 6). Niti jedna od dosada istraživanih pećina nema značajnije dimenzije. Mijatova pećina se nalazi na koti 1 242 m kod kapelice Sv. Ante, oko 200 m udaljena od glavne prometnice Rakitno-Doljani. Na ulazu Mijatove pećine vidljive su pukotine koje su utjecale na širinu nastale podzemne prostorije, dok su blago nagnuti slojevi vapnenca gornje jure odredili strop i pod objekta (Marinčić i Karačić, 2005).



Slika 5. Prikaz Mijatove pećine (*Marinčić i Karačić 2005*)

Ulaz u Mijatovu pećinu je zatpan kamenim blokovima, između kojih se može provući u vertikalni prolaz 6 m visine, koji nastavlja dijelom veće dvorane prekrivene humusom. Pećina je vjerojatno bila udobno boravište za ljetnih dana. Bilo bi vrijedno sondirati i iskopavati humus i krše u ovoj prostoriji radi dobivanja zanimljivih arheoloških nalaza (Marinčić i Karačić, 2005). Na slici 6. prikazani su detalji snimljeni tijekom istraživanja spilje Kučelje (Sokolice), koja se nalazi 1 km istočno od naselja Risovac na koti od 1 600 m. Dužina spilje je 85 m, završava vertikalnim otvorom (dimnjakom) višim od 30 m. Pravac pružanja glavnog kanala je sjever-jug, kao i međuslojne pukotine, rasjed i glavna pukotina. Ulaz u spilju se nalazi na sjevernoj strani. Spilja je oblikovana u jurškim vapnencima i to na granici oolitičnih vapnenaca s krinoidima (doger) i vapnenaca s kladokoropsisimsa (oksford i kimeridž). Spilja je u geološkoj prošlosti imala vjerojatno funkciju povremenog vrela, jer se i danas pojavljuje voda u dijelu spilje, ali ne

izvire voda jer тамо ponire. На слици 6. приказан је вертикални канал промјера 3 m, по којем се тешко penje naviše, али се осјећа јаче strujanje zraka na ulazu па се pretpostavlja drugi ulaz из којег bi se možda lakše peli na veću razinu radi cijelovitijeg istraživanja spilje Kučelci (Marinčić i Karačić 2005).



Slika 6. Prikazi Spilje Kučelci (Marinčić i Karačić 2005)

U istražene dvije spilje nisu uočeni spiljski ukrasi, što je vjerojatno uvjetovano infiltriranjem oborinskih (mekih) voda s otopljenim CO₂ iz atmosfere, koja je tek počela otapati karbonatne stijene na ovim razinama. Zasićenje ovih procjeđujućih oborinskih voda kroz vapnence i odlaganje rastvorenih karbonatnih okamina u obliku stalagtita, stalagmita i drugih spiljskih ukrasa, očekuje se tek na nižim horizontima, tj. većim dubinama bliže svojim izvorima, koja se nalaze uz korita Neretve, Drežanke, Dive Grabovice, Rame i Doljanke (Slika 1.). Preporučuje se daljnje hidrogeološka i speleološka istraživanja u PPB radi snimanja i uređenja pristupa spiljskim prostorima i procjene vodopropusnosti i retencijskih odlika podzemnih vodonosnika u PPB, jer dobijeni podaci mogu biti podloga za daljnje istraživanje energetskog potencijala.

VODE U PPB

Na području PPB nalaze se brojne površinske vode, od kojih je najznačajnije: jezero Blidinje, četiri manja jezera, vodotoci Brčanika i Diva Grabovica, brojne močvare (Gornje i Donje Bare, Gornja Luka, manji dijelovi sliva Masne Luke i Blidinje jezera), 18 lokvi, 67 izvora vode (Jasle, Fratarsko (Sl. 7) i Juriljevo vrilo u Masnoj Luci, Grkuš, Soldino vrilo, Bilo vrilo, Konjsko vrilo, brojni izvori uz korita Doljanke, Neretve, Dive Grabovice i Drežanke), osam zdenaca, dva snježna zdenca, više točila, 16 ponora itd. Uz granice PPB protječe rijeke s dubokim kanjonima: Rama, Doljanka, Neretva i Drežnica. Lokaliteti svih ovih pojava vode prikazani su u Hidrogeološkoj studiji PPB (Slišković i Zelenika, 1998). U istoj Studiji prikazani su i laboratorijski rezultati ispitivanja kakvoće vode uzorkovanih na području PPB. Tamo se nalaze i

brojne stare i nove cisterne (čatrnje) za uskladištanje oborinskih voda i njihovo korištenje za potrebe korisnika tamošnjih objekata, pastira i njihovih stada ovaca.



Slika 7. Fratarsko vrelo kaptirano za potrebe crkve i franjevačkog samostana u Masnoj Luci (Slišković i Zelenika, 1998.)

Velike godišnje oborine od približno 1 600 mm/g, prostrani zatvoreni vodni sливови Dugo polje, Masna Luka i dr. i složena tektonska građa, uvjetovala je veliki broj ponora i izvora (Slika 1). U takovim hidrogeološkim uvjetima očekuju se složeni sustavi podzemnih pukotina, kaverni, kanala i neotkrivenih spilja, koje su generirane ovako velikim količinama oborinske vode, koje se gibaju svojim dugim podzemnim putevima od ponora do svojih izvora. Osnovano se može pretpostaviti kako se u PPB nalazi veliki broj neotkrivenih spilja s bogatim ukrasima kao i zanimljive vrste endemske biljaka i životinja. Zato bi bilo nužno nastaviti adekvatna geološka, hidrogeološka, biološka i speleološka istraživanja u PPB. Na slici 3 (Slišković, Zelenika i Kovač, 2005) prikazan je raspored vodopropusnih i vodonepropusnih stijena, koje uvjetuju gibanje podzemne vode od ponora do izvora, gdje se mogu predpostaviti favorizirajuće trase tečenja podzemne vode.

Na temelju hidrogeoloških i hidroloških istraživanja trasirane su razdjelnice pojedinih sливова, koje nisu jednoznačno određene, jer se javljaju zonalne promjene u ovisnosti o različitim uzrocima. Tako razlikujemo sливove: Rame, Doljanke, sliva vrela Praporac (Komadinovo vrelo), Crnog jezera, Vrela u slivu Drežanke (Slišković i Zelenika, 1998), vrela u slivu Ugrovače i Vrela u slivu Lištice. Područje samoga PPB ima svoje morfološke depresije, koje su uvjetovale slijedeće vodne sливove: slivno područje jezera Blidinje i polja Svinjača na približno 60 km², slivno područje Masne Luke na približno 11 km², slivno područje Rudo polje na približno 14 km², slivno područje Brčanj na približno 12 km² i slivno područje Donjih i Gornjih Bara na približno 10 km² površine.

STANJE VODOOPSKRBE I SANITACIJE

PPB ima impozantne geomorfološke, hidrografske, klimatološke, rekreacijske i druge prirodne vrijednosti uključujući prekrasne vidikovce, krajolike endemske vrste biljaka i životinja, što treba adekvatno zaštiti za generacije koje dolaze. Samo manji broj obitelji stalno živi na području PPB, izuzimajući porjeće rijeke Doljanke, ušća Dive Grabovice i Drežanke. U PPB je rekonstruiran veliki broj starih tradicijskih kuća (Slika 8) i izgrađen daleko veći broj novih kuća za odmor duž prometnice kroz Dugo polje od jezera Blidinje do Sovičkih vrata i uz put prema Masnoj Luci. Posebno je velik broj novih kuća za odmor izgrađen u blizini dviju staza za skijanje (Slika 9). Kako je više od 1 000 kuća za odmor već izgrađeno u PPB i njihov broj se svake godine povećava, predložena je i preporučena gradnja adekvatnog vodoopskrbnog sustava, sustava odvodnje i uklanjanja komunalnog otpada na području PPB.



Slika 8. Tradicijski raspored objekata za stanovanje i staje za blago u PPB
(Glibić, Čolak i Gotovac, 2005)



Slika 9. Pogled na skijaške staze i nove kuće za odmr u PPB (Mandić i Rezo, 2005)

U Studiji (Slišković i Zelenika, 1998) dan je popis 115 različitih izvorišta vode, uključujući čatrnje (Slika 10 i 11) na području PPB na kojima se poje stada ovaca, ptice i divlje životinje te okrijepljuju planinari koji dolaze u sve većem broju na Čvrsnicu i na Vran planine. Oznake pojedinih jezeraca i izvora vode i pristupe njima postojećim planinarskim stazama treba obnoviti i dodatne izgraditi kako bi svи vrijedni vidikovci i prirodni krajolici bili pristupačni posjetiteljima. Pučanstvo uz rijeke (Doljanku, Grabovicu, Drežnicu) koristi vodu iz rijeke i tamošnjih izvora, pučanstvo uz polje Brčanju s malim vodotokom (Slika 4) koji ljeti presušuje, koristi vodu iz plitkih kaptaza i sezonskih vodotokova. Kaptiranje podzemne vode na polju Brčanj i/ili zahvatanje vode na jezeru Blidinje i uređenje retencije u Masnoj Luci, preporučene su kao moguća izvoriste vode za vodoopskrbni sustav područja PPB (Slišković i Zelenika, 1998). Izbor lokacije i konstrukciju javne kaptaze na Brčanjskom polju trebalo je provesti nakon dodatnih hidrogeoloških prospekcija i izrade projekta, kojim bi se definirale i označile zaštitne zone erpilišta te propisala redovita kontrola kakvoće vode koja se koristi u kućama za odmor.



Slika 10. Stara čatrnja i danas održavana i korištena (Glibić, Čolak i Gotovac, 2005)



Slika 11. Detalj lučnog kamenog svoda loše održavane stare čatrnje u PPB
(Glibić, Čolak i Gotovac, 2005)

Vlasnici novih kuća za odmor u PPB (Slika 9), izgradili su armorano betonske cisterne na svojim parcelama radi prikupljanja oborinskih voda s krovova kuća, skladištenja i korištenja te vode, koju dižu u kuhinje i kupaonice koristeći hidrofor. Na Brčanjskom polju je uređena jedna kaptaža za zahvaćanje vode radi dopunjavanja cisterni. Naime, kada se voda u cisterni potroši, voda se naručuje te se cisterna dopuniće mobilnom cisternom. Katolički samostan, crkva i galerija umjetnina u Masnoj Luci, koristi kaptirano obližnje Fratarsko vrelo u Masnoj Luci (Slika 7) za svoj lokalni vodoopskrbni sustav. Vodotok na Brčanjskom polju počeo je presušivati ljeti sve duže vrijeme, jer se snižava razina podzemne vode zbog strmijih kanala i eksploatiranja građevinskog materijala u Brčanju polju. Stoga je nužan izbor adekvatne lokacije i konstrukcije kaptaže te zaštita količina i kakvoće vode na Brčanjskom polju.

Svaki od vlasnika kuće za odmor u PPB, izradio je vodonepropusnu septičku jamu na svojoj parceli prema naputcima Uprave PPB. Uprava PPB je angažirala/ugovorila službu za redovito pražnjenje septičkih jama, što plaćaju vlasnici kuća. Sanitarne otpadne vode prikupljene u PPB odvoze se i zbrinjavaju u najbližem gradskom kanalizacijskom sustavu, u Mostaru, gdje se projektira uređaj za pročišćavanje otpadnih voda. Zanimljiva su istraživanja prof. B. Kurpjela kasnih 60-tih godina prošloga stoljeća koja su utvrdila više onečišćenja vode kratkog vodotoka Bune njenom ušću u Neretvu nego je onečišćenje vode u Neretvi prije ušća Bune. Te rezultate je prof. Kurpjel na predavanju 1972. g. protumačio visokim sadržajem kisika otopljenog u vodi Neretve pa prema tome i velikog kapaciteta autopurifikacije vode.

Nestašica potrebnih finansijskih sredstava uvjetuje dodatno čekanje na početak gradnje adekvatnog vodoopskrbnog sustava i sustava sanitarne odvodnje u PPB. te se preporučuje nabavka adekvatnih privatnih filtera za oborinsku vodu skladištenu u tradicionalne cisterne (čatrnje) i tako poboljšati kakvoću vode u domaćinstvima. Isto tako potrebno je urediti sustav odvodnje; zato se preporučuje gradnja adekvatnih vodonepropusnih septičkih jama, koje će se redovito prazniti mobilnom odgovarajućim crpkama i odvoziti cisternama do najbližeg uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

ZAKLJUČAK

Šire područje koje obuhvaća Dugo polje, planine Vran i Čvrsnicu, duboka korita rijeka Rame, Doljanke, Neretve, Dive Grabovice i Drežanke, proglašeno je 1995. g. Parkom prirode 'Blidinje' (PPB), jer je jezero Blidinje na jugozapadnom dijelu Dugoga polja fokalna točka ovoga prostora. Jezero Blidinje, tri najdublja riječna kanjona u Europi, jedinstven pristupačan geološki profil naslaga cjelokupnog mezozoika u rasjedu 1 000 do 1 500 m dubokog kanjona Drežanke, 115 različitih izvorišta vode, veoma su važni sadržaji PPB. Posebno su vrijedna jezera i lokve na Čvrsnici do kojih rijetki planinari dospijevaju, jer nema adekvatnih oznaka niti staza za pristup prekrasnim vidikovcima, endemskim biljkama i krajolicima. Sve vrijedne sadržaje treba bolje označiti, zaštiti i poboljšati prolaznost i mrežu pristupa pojedinim jezercima, izvorima vode, vidikovcima, ponikvama itd. Uprava PPB treba spoznati i učinkovito realizirati svoje ambiciozne dužnosti na podizanju razine zaštite svih vrijednih sadržaja u PPB i šire.

U par istraženih spilja na rubu Dugog polja, nisu uočeni spiljski ukrasi, jer su istražene spilje na kotama višim od 1 200 m, gdje se infiltrira mekana oborinska voda s otopljenim CO₂ iz atmosfere, koja nema šta odlagati, jer je tek počela otapati karbonatne stijene na ovim razinama. Zasićenje karbonatima u procjeđujućoj vodi postiže se procjeđivanjem kroz deblje mase raspucalih vapnenaca, pa se odlaganje tako rastvorenih karbonatnih spojeva, može očekivati u spljama tek na nižim horizontima bliže svojim izvorima, koja se nalaze uz korita Neretve, Drežanke, Dive Grabovice, Rame i Doljanke (Slika 3.). Tek se tamo mogu očekivati spilje s ukrasima u obliku stalaktita, stalagmita i drugih spiljskih ukrasa. Zato se preporučuju intenzivnija hidrogeološka i speleološka istraživanja i uređivanja spilja koje će obogatiti ponudu PPB većem broju posjetitelja, uključujući školske i studentske stručne ekskurzije, a možda spoznati i ev. nove energetske potencijale.

Kako nije izgledno skorije uređenje adekvatnog vodoopskrbnog sustava zbog nestašice potrebnih finansijskih sredstava u PPB, preporučuje se hitna sanitarna zaštita postojeće kaptaze na Brčanjskom polju i redovita kontrola kakvoće vode. Vrijedno je preporučiti vlasnicima kuća za odmor, nabavku adekvatnih privatnih filtera za oborinsku i doveženu vodu skladištenu u tradicionalne cisterne (čatrnje) i tako osigurati adekvatnu kakvoću vode u svojim domaćinstvima. Dugo će se čekati i uređenje adekvatnog sustava odvodnje sa sustavom za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda, stoga se preporučuje gradnja privatnih vodonepropusnih septičkih jama prema naputcima uprave PPB, koje će se prazniti crpkama na mobilnim cisternama kojima se fekalije odvoze do najbližeg uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

LITERATURA

- Glibić, M., Čolak, I. i Gotovac, B. (2005): Specifični konstrukcijski detalji na području Blidinja, Zbornik radova Prvog međunarodnog znanstvenog simpozija u Masnoj Luci-PPB, str. 450-466
- Mandić, Z. i Rezo, N. (2005): Problemi zaštite okoliša i održivog razvitka u Parku prirode Blidinje, Zbornik radova Prvog međunarodnog znanstvenog simpozija u Masnoj Luci-PPB, str. 487-504.

- Marinčić, J. i Karačić, S. (2005): Speleološki objekti, izvori, vodotoci, jezera i ponori na širem području Parka prirode Blidinje, Zbornik radova Prvog međunarodnog znanstvenog simpozija u Masnoj Luci-PPB, str. 121-132.
- Musa, S. (2005): Geomorfološke specifičnosti Parka prirode Blidinje, Zbornik radova Prvog međunarodnog znanstvenog simpozija u Masnoj Luci-PPB, str. 93-119.
- NEAP (2003): National Action Plan (Nacionalni plan za čuvanje okoliša u Bosni i Hercegovini.
- Papeš, J. (1988): Tektonska građa teritorija, Bosne i Hercegovine, Fond, NIR, Sarajevo.
- Slišković, I. i Zelenika, M. (1998): Hidrogeološka studija Parka prirode Blidinje, Arhiv Županije ZapadnoHercegovačke, Posušje.
- Slišković, I., Zelenika, M. i Kovač Lj. (2005): Hidrogeologija Parka prirode Blidinje i zaštita voda, Zbornik radova Prvog međunarodnog znanstvenog simpozija u Masnoj Luci-PPB str. 75-92.
- Vego, M. (1937): Povijest Humske zemlje I dio, Samobor

UTJECAJ POZITIVNIH I NEGATIVNIH ČIMBENIKA NA KRAJOLIK PP HUTOVO BLATO S POSEBNIM OSVRTOM NA GORNJE HORIZONTE

M. Arapović¹

¹ Maja Arapović, Sveučilište u Mostaru, Fakultet prirodoslovno-matematičkih i odgojnih znanosti, Matice hrvatske bb, 88000 Mostar, Bosna i Hercegovina.

SAŽETAK

Područje Dinarskoga krša u geokološkom smislu je jedno od najrazvijenijih u Europi, koje se zbog svoje geografske građe, mediteranske klime, pedoloških i drugih čimbenika odlikuje iznimnim biodiverzitetom. Bogatstvo vodama i povoljni hidromorfološki uvjeti potaknuli su već sredinom prošloga stoljeća intenzivna istraživanja s ciljem korištenja vodnih resursa u hidroenergetske svrhe. Izgradnjom hidroenergetskih objekata na slivu Trebišnjice došlo je do velikih promjena vodnoga režima. Riječ je o Gornjim horizontima, najvećem hidroenergetskom projektu ovih prostora. U radu smo prikazali njegov povjesni pregled čija je realizacija do danas značajno narušila prirodne procese, ali se također odrazila i na život pojedinca. Održivo upravljanje resursima voda na slivovima riječki ključno je kad su u pitanju kompleksni projekti kao što je ovaj, a situaciju dodatno otežava prekogranična ili međuentitetska ne/suradnja. Ako se ne pronadu kompromisna rješenja, njegov nastavak imao bi negativne posljedice za sve. Na europskim primjerima dobre prakse ukazat ćemo na moguća rješenja ovih problema, kad su u pitanju ovakvi projekti, poštujući načela održivoga razvoja.

KLJUČNE RIJEČI: krajolik; Hutovo blato; hidroenergetski sustavi; upravljanje vodama; Gornji horizonti

1. GLAVNE KARAKTERISTIKE PARKA PRIRODE HUTOVO BLATO

Okršenost reljefa i krški prostor odlika je prostranoga planinskog područja Dinarida, koji se pružaju kao cjelovit pojas sve od slovenskih vrhunaca, pa uzduž jadranskoga obalnog prostora do planinskoga lanca Prokletije uz albansku granicu.¹ Park prirode Hutovo blato nalazi se na području Dinarskoga krša u jugoistočnoj Hercegovini i pripada aluvijalnom močvarnom području delte Neretve, smješten na njezinoj lijevoj obali, protežući se područjem čapljinske i stolačke općine s površinom od 7824 m². Okružen je okršenim masivima uzvisina i krškim poljima s tipičnim geološkim oblicima karakterističnim za krš, pa je površinsko otjecanje krajnje reducirano.² Kretanje vode odvija se uglavnom podzemljem kroz složen sustav podzemnih tokova. Akumuliranjem vode u krškim poljima u kišnom razdoblju aktiviraju se ponori i ponorske zone i tako prihranjuju izvore na nižim horizontima. Područje parka u hidrološkom smislu pod utjecajem je površinskih, premda manje, te podzemnih voda slivova Neretve, Trebišnjice i Bregave pa su podzemni dotoci jedini način prihranjivanja ovoga područja vodom.³ Veoma veliku ulogu u hidrološkom smislu ima rijeka Krupa, pritoka Neretve, koja s podzemnim vodama ovoga krškog područja uvjetuje vodni režim, a na taj način značajno utječe na životne uvjete ovoga močvarnog i ekološkog sustava. U vrijeme visokoga vodostaja Neretve Krupa nosi vodu prema Deranskom jezeru, te uzrokuje poplave u okolnim područjima. Dijelovi jezera, niži od kote +1 stalno su pod vodom. Povećano podzemno otjecanje vode

¹ Usp. SREĆKO BOŽIĆEVIĆ, *Fenomen krš*, Školska knjiga, Zagreb, 1992., str. 8.

² Usp. *Nacrt Prostornog plana PP Hutovo blato*, str. 77.

³ *Isto*, str. 69-70.

rezultiralo je nastankom brojnih ponora i ponorskih zona.⁴ U koritu Trebišnjice i bočnim stranama Popova polja registrirano je više od 500 ponora, a procjenjuje se da je u Hutovu blatu oko 40 izvora.⁵

Područje parka prirode je biološki veoma osebujno i raznoliko, kao takvo čini golemu kršku vodenu oazu u kojoj je našla mjesto specifična flora i vegetacija, a migracijske ptice močvarice i selice pronašle pogodno odmorište na dugom putovanju. Biljni pokrivač sačinjen je od veoma raznolike vegetacije uokvirene vodenim, močvarnim, livadskim i šumskim površinama. Područje karakterizira i visok biodiverzitet staništa, pri čemu ne zaostaje bogatstvo životinjskoga svijeta.⁶ Također, ihtiofauna močvare Hutovo blato je veoma bogata i raznovrsna; ukupno su zabilježene 43 vrste riba, pripadnika 36 rodova i 19 porodica.⁷

Upravo visok stupanj biološke raznolikosti ukazao je na potrebu za zaštitom i očuvanjem ovoga močvarnog ekosustava koja je započela još 1954. godine, osnutkom ornitološko-faumištičkog rezervata Hutovo blato, a 1959. godine jezero Škrka zaštićeno je kao strogi ptičji rezervat. U Popis močvara od međunarodnoga značaja uvršten je 1971. godine, a 1980. godine uključeno je u Međunarodni projekt za zaštitu mediteranskih močvara. Godine 1995. Hutovo blato je zaštićeno kao park prirode kojim upravlja Javno poduzeće Hutovo blato, a od 1998. Godine Međunarodni Savjet za zaštitu ptica (ICBP) uvrstio ga je u listu međunarodno važnih staništa ptica. Zadovoljavajući kriterije koje nalaže konvencija te zbog svoje jedinstvenosti i potrebe očuvanja, ne samo u okviru svojih granica nego i na međunarodnoj razini, 24. rujna 2001. uvršteno je listu močvara od međunarodne važnosti po metodologiji Ramsarske konvencije i registrirano je pri UNESCO-om Direktoratu u Parizu, a Bosna i Hercegovina se obvezala međunarodnim pristupanjem Ramsarskoj konvenciji na očuvanje Hutova blata. Izgled ovoga močvarnog ekosustava je izmjenjen antropogenim djelovanjem u posljednjih pedesetak godina. Močvarni ekosustavi smanjeni su za više od 30% u odnosu na prvobitno stanje. Hidrološke značajke močvare su ugrožene u odnosu na izvorno stanje izgradnjom hidroenergetskih sustava te je došlo do smanjenja dotoka vode. Izravnim intervencijama u prostoru poput melioracije močvarnoga dijela i izgradnje umjetnog jezera Svitava došlo je do gubitka poplavnih livada i smanjenja cijelokupnoga preljeva podzemne vode na Deransko jezero što je rezultiralo na smanjenje faune na području Hutova blata.⁸

2. UTJECAJ POZITIVNIH I NEGATIVNIH ČIMBENIKA NA KRAJOLIK PP HUTOVO BLATO

2.1. Negativni čimbenici

Mnogo je čimbenika koji utječu na ugrožavanje i uništavanje prirodnih ljepota unutar parkova prirode kao što je i sam Park prirode Hutovo blato. Zaštićena područja prirode, poput parkova prirode i nacionalnih parkova, čiji je prioritet opća zaštita prirodne sredine, te očuvanje prirodnoga i antropogenoga krajolika, danas su podložna velikim promjenama zbog gospodarske eksploracije i izgradnje.⁹

1. Nedovoljno provođenje odredbi Ramsarske konvencije predstavlja veliki problem. Konvencija o vlažnim područjima Ramsar donesena je 2. veljače 1971. u iranskom gradu Ramsaru, stupila je na snagu 1975. godine i ima preko 160 država članica, te je jedna od najstarijih koja se bavi pitanjima zaštite prirode. Ona predstavlja ključni dokument čiji je primarni cilj očuvanje vlažnih područja na Zemlji koja su od presudne važnosti za opstanak

⁴ *Isto*, str. 72.

⁵ *Isto*, str. 73.

⁶ Usp. *Nacrt Prostornog plana PP Hutovo blato*, str. 40-50.

⁷ Usp. PERO TUTUMAN - MARKO ĆALETA - BRANKO GLAMUZINA - JAKOV DULČIĆ, "Biološko-ekološke osobitosti, rasprostranjenosti i stanje zaštite peščelja na području močvare Hutovo blato u Bosni i Hercegovini", u: *Croatian Journal of Fisheries*, Vol. 70, No. Suplement, 1/2012., str. 17.

⁸ Usp. *Akciski plan za revitalizaciju močvarnog ekosustava Hutova blata*, WWF, 2014., str. 10-11.

⁹ ANTE UZELAC, *Prostorno planiranje*, Dom i svijet, Zagreb, 2001., str. 526.

mnogih biljnih i životinjskih vrsta i njihovih zajednica. U Bosni i Hercegovini tri su lokaliteta na Ramsarskoj listi od međunarodne važnosti i to: Hutovo blato - 2001., Bradača - 2007. i Livanjsko polje - 2008. godine. Provodenje odredbi Konvencije je uglavnom ograničeno na volontersko djelovanje koordinatora za njezinu provedbu i nevladinoga sektora, bez ozbiljnije institucionalne potpore.

Hutovo prijeti ekološka katastrofa zbog deficitia vode koja je ključni faktor očuvanja močvara, a izgradnja hidroenergetskih sustava produbljuje problem. Stoga bi nadležne institucije trebale imati više sluha za ovo vrijedno područje. Premda WWF i lokalne udruge za zaštitu prirode nastoje ukazati na ozbilnost situacije, ipak ne čine se dovoljni naporci niti se uspostavlja adekvatna suradnja između odgovornih institucija, koja je neminovna kako bi se zajedničkim snagama pronašla rješenja za održivo upravljanje resursima vode na ovome području. Također, na području prirodnoga rezervata Bradača, intenziviranjem poljoprivredne proizvodnje, isušivanjem ribnjaka, te ispuštanjem otpadnih voda, ozbiljno je narušen ovaj ekosustav i ugrožene su mnoge biljne i životinjske vrste.

2. Prema podacima iz Prostornoga plana, u svrhu iskoristavanja hidroenergetskog potencijala ovoga područja izvršeni su brojni zahvati u prostoru koji su u potpunosti izmijenili močvarni karakter ovoga dijela Hutova blata. Izgradnjom hidroelektrana i s njima popratnih objekata brojni izvori preko kojih se nekad prihranjivalo ovo područje danas su uglavnom isključeni, korita rijeka su zabetonirana, pri čemu je prirodni režim vode potpuno izmijenjen preusmjeravanjem voda, a time je i opstanak samoga parka doveden u pitanje. Problem također predstavljaju oscilacije visokih vodostaja u vrijeme kišnoga razdoblja i niskih za vrijeme suša (opširnije u poglavljiju br. 3).

3. Na području Parka krivolov je veoma raširen. Prema podacima iz studije koja je razvijena u okviru projekta ORNIBA što se provodio s ciljem zaštite ptičjih vrsta na Balkanu, a finansirala ju je Europska Unija u sklopu Programa IPA uspostavljanjem prekogranične suradnje, BiH i Crne Gore, utvrđeno je da je osim ubijanja ptica u Hutovu blatu zabilježen i niz drugih krivolovnih aktivnosti: ubijanje zaštićenih vrsta, lov u razdoblju lovostaja, korištenje nedopuštenoga oružja, mamilica i prijevoznih sredstava. Zakon o lovstvu i njegova implementacija su na veoma niskoj razini jer nisu implementirani niti minimalni europski standardi za zaštitu ptica. Iako su Zakonom predviđene kazne za krivolov, evidentno je da se one ne primjenjuju u praksi.

4. Požari su, na žalost, česta pojava u *PP Hutovo blato* i predstavljaju velik problem. Javljuju se i u zimskim mjesecima na plavnim livadama kada je nivo vode nizak, a osobito ljeti na okolnim brdima za vrijeme suše i visokih temperatura. Najveći do sada zabilježeni požari na ovom području izbili su 2007. i 2011. godine. Ovaj 2011. godine trajao je tjedan dana i prouzročio katastrofalne posljedice gdje je uništeno više od 70% površine Parka. Uništen je biljni pokrivač koji je činio zaklon i bio izvor hrane faune Parka. Time je poremećen cijeli lanac ishrane, brojna ptičja gnijezda su uništena, a utvrđeni su znatni finansijski gubitci.

5. Park svoju reprezentativnost može zahvaliti velikom bogatstvu kulturno-povijesne baštine, na žalost koja još uvijek nije prepoznata u pravom smislu. Na njegovu teritoriju nalaze se brojni spomenici kulture, gradine, gomile, stećci ali se smatra da područje još uvijek nije dovoljno istraženo. Kad su u pitanju arheološka istraživanja, treba svakako spomenuti jedno od najpoznatijih lokaliteta a to je Desilo, koje bi također trebalo detaljnije istražiti a osobito zaštititi. Poznat je stručnoj i široj javnosti još od 1971. godine, na kojem su arheološkim istraživanjima pronađeni ulomci amfora, te kako se smatra i ostaci dva ilirska broda.¹⁰

Mnogobrojni stećci su zapanjeni i obrasli, a most na rijeci Bregavi u čapljinskoj općini, kojega je 1517. godine sagradio hercegovački sandžak-beg Mustafa (Mustaj-beg), također je u propadanju. Most se nalazi u naselju Klepcici, jedan kilometar južno od Čapljine. Povjerenstvo za očuvanje nacionalnih spomenika proglašilo je 2003. godine povijesnu građevinu Most u Klepcima nacionalnim spomenikom BiH. Kako bi se sačuvala neprocjenjiva blaga koja se nalaze unutar Parka, potrebna je sanacija i revitalizacija, a samim time i adekvatna valorizacija ovih vrijednih povijesnih ostataka.

¹⁰ Usp. VESNA ZMAIĆ - IGOR MIHOLJEK, "Podvodno arheološko istraživanje lokaliteta Desilo - Hutovo blato", u: *Godišnjak hrvatskog restauratorskog zavoda*, 4/2013., str. 171.

2.2. Pozitivni čimbenici

1. Inicijativa "Big Win for Dinaric Arc" nastala je 2008. godine, koju su 29. svibnja zajednički potpisali ministri odgovorni za pitanja okoliša i zaštite prirode iz šest zemalja Ekoregije Dinarskoga luka. Utemeljenjem inicijative, predstavnici vlada Albanije, BiH, Hrvatske, Crne Gore, Srbije i Slovenije objavili su namjeru proglašenja 13 novih zaštićenih područja i povećanja 9 postojećih. Krajnji cilj inicijative jest umrežavanje i dobro upravljanje zaštićenim područjima koja se prostiru kroz šest zemalja Dinarskoga luka, te pružiti praktičnu osnovu za dugoročnu suradnju koja omogućuje dobit lokalnom i nacionalnom gospodarstvu.¹¹

Projekt "Parkovi Dinarskog luka" započeo je 2012. godine pod pokroviteljstvom WWF-a. Provodi se na području zemalja u regiji Dinarskoga luka, a njegov glavni cilj jest stvoriti platforme zaštićenih područja, te unaprijediti suradnju u zaštiti parkova između zemalja. Konferencije koje se održavaju potkraj svake godine imaju cilj upoznavanje s kolegama iz regije kao i razmjenu informacija na primjerima dobre i loše prakse upravljanja zaštićenim područjima. Projekt u trajanju od tri godine financira Ministarstvo vanjskih poslova Norveške i MAVA Foundation.¹²

2. Nakon duljega razdoblja područje Parka dobiva toliko očekivane strateške dokumente, Prostorni plan i Plan upravljanja, na temelju kojih je razrađen čitav niz aktivnosti koje se temelje na načelima održivosti, te racionalnjem i učinkovitim upravljanju. Budući da Park obiluje tolikim potencijalom, nužna je zajednička suradnja cijelokupne zajednice na ovom prostoru u iskorištavanju turističkoga potencijala kojega svakako ima, razvoju predloženih ekološko-prihvatljivih oblika turizma, osobito seoskoga, pri čemu je potrebno uključiti lokalno stanovništvo koje bi bilo glavni promotor domaćih proizvoda, te na taj način stvoriti brend Parka, a istodobno priskrbiti vlastitu dobit. Lokalno stanovništvo nije do sada pokazivalo gotovo nikakav interes, što je također loše utjecalo na promociju parka.

3. Boljuni su jedna od najznačajnijih nekropola stećaka u Bosni i Hercegovini, ali i općenito. Nalaze se u istoimenom zaseoku koje je u sastavu sela Bjelovočići, te pripada Parku prirode Hutovo blato. Tu je smješteno 273 stećka, te je po veličini treća, a po brojnosti ukrašenih stećaka (38,4% od ukupnoga broja) na prvom mjestu u Bosni i Hercegovini. Nekropola u Boljunima je stavljena pod zaštitu kao spomenik kulture Bosne i Hercegovine 22. lipnja 1971., a proglašena je nacionalnim spomenikom 2002. godine. Ove je godine u nominaciji za upis na listu svjetske baštine UNESCO-a. U okolini Boljuna ima tragova iz ilirskih vremena (gradina i tumuli), a nedaleko je lokalitet Crkvina, vjerojatno iz kasnoantičkoga razdoblja i ostaci vjerojatno ranosrednjovjekovnoga groblja. Od 2010. godine brigu o nekropoli stećaka Boljuni, kao i drugim kulturnim znamjenostima, vodi udruga građana "Neveš". S ciljem promocije nekropole, tiskana je monografija *Tajna Boljuni* u kojoj su prikazane sve vrijednosti nekropole sa shemom ukrašenih stećaka.¹³

3. OSVRT NA GORNJE HORIZONTE

Gornji horizonti predstavljaju najveći hidroenergetski projekt na ovim prostorima, kojim je na slivu Trebišnjice predviđena izgradnja sedam hidraoelektrana od Nevesinja do Dubrovnika, 6 akumulacija, 6 tunela od 50 km i 3 kanala ukupne dužine 75 km. Projektom je predviđeno preusmjeravanje dijela voda iz sliva Neretve, točnije voda iz sliva Bune, Bunice i Bregave u sliv Trebišnjice. Naime, riječ je o projektu "Hidrosustav Trebišnjica" koji se realizira kroz dvije faze.

Prvobitno je 1961. godine izgrađen desni obrambeni nasip uz rijeku Krupu i dvije dionice pri čemu je Višićka kazeta izdvojena iz svitavsko-deranskog područja. Zatim je 1963. godine izgrađen i lijevi nasip uz Krupu, usporedo s tim izvršena je regulacija korita rijeke Krupe, te je

¹¹ Usp. NEVENKO HERCEG, *Okoliš i održivi razvoj*, Sveučilište u Mostaru, Mostar, 2013., str. 187.

¹² Usp. (<http://www.zastita-prirode.hr/Aktivnosti-projekti-i-medunarodna-suradnja/Projekti/Ostali-projekti/Parkovi-Dinarskog-luka>), pristup ostvaren 30. kolovoza 2015.

¹³ MIROSLAV PALAMETA - MIRO RAGUŽ - MARINKO ŠTALO, *Tajna Boljuni*, SMART, Raguž & Barbarić design, Stolac, 2014.; (<http://www.stolac.co/nekropolaboljuni/index.html>), pristup ostvaren 23. lipnja 2015.

uslijedila izgradnja obodnoga kanala Svitava - Dračevo, od naselja Svitava do utoka u rijeku Krupu, kako bi se spriječilo plavljenje iz mnogobrojnih izvora smještenih po obodu svitavске kazete, a prikupljene vode provele u rijeku Krupu.

Izgradnjom brane Gorica (1965.) dio voda rijeke Trebišnjice odveden je tunelom prema Jadranskom moru, tj. HE Plat kod Dubrovnika, pa je ovim zahvatom smanjeno trajanje poplava u Popovu polju. Godine 1968. izgradnjom brane Grančarevo s HE Trebinje I i hidroakumulacijom Bileća, realizirana je prva faza projekta "Hidrosustav Trebišnjica".



Slika br. 1: Projekt Hidrosustav Trebišnjice



Slika br. 2: Prevodenje voda iz sliva Neretve u sлив Trebišnjice

U drugoj fazi izgrađena je PHE Čapljina (1979.) s hidroakumulacijom Popovo polje i HE Trebinje II (1982.). Time je potpuno izmijenjen režim površinskih i podzemnih voda. To je zapravo dio projekta koji još nazivamo Donji horizonti, a koji se proteže nizvodno od Bileće. Izgradnjom dovodnoga kanala do GKB Hutovo izvršena je regulacija korita Trebišnjice kroz Popovo polje, te je prirodno korito Trebišnjice betonirano u dužini od 65 km. Regulacijom korita izdvojeni su ponori i ponorske zone u Popovu polju, a preostala voda je preusmjerena u GKB PHA Čapljina. Antropogenim zahvatima na rijeci Trebišnjici i Popovu polju smanjen je dotok vode u Hutovu blatu što je osobito naglašeno u sušnom periodu. U završnoj fazi ovoga projekta predviđena je izgradnja još tri hidroelektrane i to: HE Dabar, HE Nevesinje i HE Bileća. Izgradnjom predviđenih hidroenergetskih sustava koristile bi se vode na pravcu Gatačkog polja, rijeke Zalomke, te Nevesinjskog, Dabarskog i Fatničkog polja i prevodile u akumulaciju Bileća. Dio projekta koji se proteže iznad akumulacije Bileća naziva se Gornji horizonti, gdje se nalaze poplavne vode gornjih krških polja (Fatničkog i Dabarskog), koje u prirodnim uvjetima otječu kroz podzemne krške kanale u smjeru rijeke Bregave, Bune i Bunice. Prema navedenom projektu ove bi se vode prevodile u akumulaciju Bileća, te se dalje koristile na već izgrađenim hidroelektranama (Trebinje I, Trebinje II, Čapljina i Dubrovnik), što je i omogućeno dovršetkom izgradnje tunela Fatničko polje - Bilečko jezero 2006. godine. U tijeku je i izgradnja tunela koji bi vodu s Nevesinjskog polja vodio do gotovo 400 m nižega Dabarskoga za potrebe HE Dabar.¹⁴

3.1. PP Hutovo blato i Gornji horizonti

Izgradnjom hidroenergetskih sustava na slivu rijeke Trebišnjice, te brojnim melioracijskim radovima močvarni ekosustav PP Hutovo blato suočen je s dramatičnim promjenama režima voda. Izvođenje brojnih zahvata poput izgradnje nasipa, brana, pretvaranje Svitavskog blata u umjetno jezero, te smanjenjem dotoka vode u Deransko blato, osobito u vegetacijskom periodu, prouzročilo je degradaciju močvarnih staništa, a nedostatak vode, posebice ljeti, ubrzao je proces zarastanja. Sve je to utjecalo i na uzdizanje dna Deranskog jezera i do jedan metar.

Zbog vodnih regulacija, osobito izgradnjom PHE Čapljina i regulacijom korita rijeke Trebišnjice, tj. betoniranjem korita, podzemni dotoci vode su svedeni na minimum, a brojni izvori i izvorisne zone su izvan funkcije ili su aktivni samo i za vrijeme velikih oborina. Evidentan je i proces zarastanja jaruga i jezera, a isušivanjem močvare dolazi do taloženja mulja

¹⁴ Nacrt Prostornog plana PP Hutovo blato, str. 78-82.

i punjenja depresija i jezera. O posljedicama, kako za biljni tako i za životinjski svijet, neupitno je govoriti. Veliki broj kako biljnih tako i životinjskih vrsta već je nestao a i mnogim endemskim vrstama prijeti izumiranje. Povećao se broj i alohotnih unesenih vrsta. Sve je to rezultat nastalih promjena pri čemu gubitak brojnih staništa neminovno vodi gubitu biološke raznolikosti.¹⁵

Projektom Gornji horizonti osobito su pogodjene rijeke. Na samoj Neretvi su provedeni brojni radovi koji su nepovratno ugrozili ekosustav ovoga područja. Regulacije vode, izgradnja akumulacija u uzvodnom dijelu, isušivanje i pretvaranje močvarnoga u poljoprivredno zemljiste nepovratno su izmijenili izgled ovoga područja.¹⁶ Osobito je teška situacija u donjem slivu Neretve gdje je smanjenjem dotoka toliko potrebne vode za navodnjavanje osobito u ljetnim razdobljima došlo do prodiranja mora u koritu Neretve što je rezultiralo pojačanim zaslanjenjem kako površinske tako i podzemne vode i time izravno ugrozilo živi svijet ovoga podneblja. Smanjenjem količine nanosa povećali su se erozivni procesi. Analizom stanja na terenu potvrđeno je osobito teško stanje na izvorima u Donjoj Neretvi i Dubrovačkom primorju gdje je na svim izvorima utvrđeno znatno smanjenje količine vode, protoci vode smanjeni su i do čak 80%. Ove promjene nisu zaobišle ni priobalno područje, a osobito područje Malostonskog zaljeva koji je ostao bez značajnih količina slatke vode sliva Trebišnjice, gdje i najmanje promjene prirodnih uvjeta mogu ostaviti dugoročne posljedice, utječući na strujanje i kakvoću mora, putem rijeka koje sa sobom često nose opasne tvari što se koriste u poljoprivredi na ovome području ali i šire.¹⁷ Najveća europska ponornica Trebišnjica pretvorena je u betonski kanal u čijem je koritu zakopano više od 150 ponora. Podzemlju su oduzete značajne količine vode, a mnogi ponori poput Doljašnice, Crnulje, Ponikve i Provalije su isključeni, time je doživjela potpunu ekološku izolaciju.¹⁸

Prema Okvirnoj direktivi o vodama (2000/60/EC), koja predstavlja najvažniji dio EU legislative, gdje se dugoročno i održivo upravljanje vodama na riječnom slivu provodi sukladno planovima upravljanja područjima s vodom, koji su ključni dokumenti kojima se reguliraju odnosi svih korisnika voda na nekom slivnom području, s ciljem postizanja dugoročno dobrog stanja voda, kao i utvrđivanje mjera kojima se nastoje pronaći načini popravljanja lošega i održavanja dobrog, te osiguranja praćenja stanja vode (monitoring), izričito je zabranjeno prevodenje voda iz njihovog prirodnog vodotoka u drugi. Kako bi se poboljšao sadašnji sustav upravljanja vodama na riječnom slivu, poštujući državne (RH i BiH) i entitetske interese (FBiH i RS), te poštujući fizička ograničenja sliva i prihvatajući načelo održivoga razvoja, izrađeni su pojedinačni planovi upravljanja riječnim slivom/slivovima Neretve i Trebišnjice i Okvir za upravljanje ovim slivovima. Projekt je finansirala Svjetska banka kroz GEF (Global Environment Facility).¹⁹

Međunarodni karakter projekta i različiti interesi svih dionika čini ga projektom visokoga rizika osobito za prirodu, i upravo je iz tih razloga trebao biti obustavljen. Ipak, prema posljednjim saznanjima, radovi na osposobljavanju HE Dabar idu predviđenim tijekom. Osim polemike oko prikupljanja potrebne dokumentacije, osobito za izradu Studije utjecaja na okoliš HE Dabar koja je bila predmet brojnih rasprava, a prema kojoj nositelji izrade (Ministarstvo RS-a) nisu ispunili uvjete koje je ovaj dokument trebao sadržavati misleći prvenstveno na negativne prekogranične ali i međuentitetske utjecaje djelovanja projekta na okoliš, ali i na utvrđenu nepotpunost studije, ništa se konkretno nije učinilo kako bi se zaustavila gradnja ove hidroelektrane. Studija je

¹⁵ Usp. *Akcjiski plan za revitalizaciju močvarnog ekosustava Hutova blata*, str. 15-20.

¹⁶ Usp. JASMINKA RADOVIĆ - JAROSLAV VEGO - MIRNA RAGUŽ - ANDREA ŠTEFAN, "Donji tok Neretve prekogranično močvarno područje", u: *Hercegovina, godišnjak za kulturu i povijesno naslijede*, br. 8-9, (16-17), Mostar, 2002./2003., str. 154.

¹⁷ Usp. MIJO VRANJEŠ - MAJA PRSKALO - TATJANA DŽEBA, "Hidrologija i hidrogeologija sliva Neretve i Trebišnjice", u: *Zbornik radova*, br. 5, Mostar, 2013., str. 7-12.

¹⁸ Usp. IVO LUČIĆ, "Gornji horizonti i Donja Neretva", u: *Hidroenergetika i okoliš*, br. 171, Zagreb, 2007., str. 4-5.

¹⁹ *Okvir Plana upravljanja riječnim slivom Neretve i Trebišnjice*, Elektroprojekt d. d. Zagreb, 2015.

odobrena, te je u rujnu 2014. uslijedilo izdavanje građevinske dozvole za izgradnju tunela HE Dabar i rad na odvodnom kanalu u Bilećkom polju.²⁰

Uvidajući ozbiljnost situacije, nastavkom ovih projekata, među kojima je planirana i izgradnja HE Omble na području koje se smatra najbogatijim fefugijem špiljske faune u svijetu, za izrađenu Studiju glavne ocjene zahvata na ekološku mrežu HE Ombla Ministarstvo zaštite okoliša Republike Hrvatske dalo je negativnu ocjenu. Utvrđeno je kako ovaj dokument ne zadovoljava niti minimalne stručne i ekonomske standarde, i nije u skladu s odredbama Smjernica o staništima, te se projekt izgradnje hidroelektrane ne može nastaviti.²¹

4. EUROPSKI PRIMJERI DOBRE PRAKSE UPRAVLJANJA RESURSIMA VODE

Prekogranično upravljanje resursima vode je veoma složeno i zahtijeva podjelu odgovornosti i suradnju. Problemi su brojni: razlike među priobalnim zemljama, u smislu društveno-ekonomskoga razvoja, interesi i ciljevi za korištenje voda, politička orijentacija, administrativni i upravljački kapaciteti na nacionalnoj razini upravljanja vodom. Zato države koje koriste zajedničke resurse vode moraju naći mehanizme koji će omogućiti da se vodom upravlja na kooperativan način za dobrobit svih, a međusobna suradnja svih strana u korištenju i upravljanju vodama je od esencijalnoga značaja. Osim globalnih konvencija poput dunavske, arhuške, helsinkiške o vodama, te Espoo konvencije o procjeni utjecaja na životnu sredinu u prekograničnom kontekstu, nekoliko protokola i direktiva, a posebice Okvirne direktive o vodama EU koje nalažu niz odredbi što se odnose na aktivno sudjelovanje javnosti i interesnih grupa za prekogranično upravljanje i zaštitu vodama, postoji čitav niz regionalnih ugovora i sporazuma sklopljenih između država, koji obuhvaćaju širok spektar pitanja od sigurnosti granica do proizvodnje energije, te zaštite i kvalitete voda.

Upravo mnogi ugovori i odredbe na temelju kojih se osnivaju Međunarodne komisije za upravljanje resursima vode sadrže mehanizme kojima se uspješno rješavaju konflikti između država suočenih s ovakvim problemima. Oblici međunarodne suradnje u oblasti upravljanja i zaštite međunarodnih vodotoka odnose se na konzultacije i zajedničke aktivnosti u okviru Međunarodnih komisija, te razmjena informacija o sporazumima između dviju ili više zemalja, kao i unutar zemlje, pravnim propisima, mjerama u području vodoprivrede, uputstvima, te publikacijama, kao i provedba tehničkih znanja, a provođenje monitoringa omogućava upravljanje resursima na temelju prikupljenih podataka. Ključno je uspostaviti programe i to pojedinačno za svako područje voda, kako bi se dobio sveobuhvatan pregled i ocjena statusa vode, za površinske i podzemne vode, a kad su u pitanju zaštićena područja, programi trebaju biti dopunjeni posebnim podacima o zaštićenim područjima sadržanim u legislativi zemlje. Najveći izazovi kad su u pitanju prekogranični problemi upravljanja vodama na riječnim slivovima stoje pred zemljama jugoistočne Europe. Prvi korak prema njihovu rješenju jest implementacija dogovorenih planova i programa u cijelosti, za što je potrebno osigurati određena sredstva financiranja. Premda GEF pruža određenu finansijsku potporu zemljama kroz pojedine projekte, kao i EU, no zbog veličine i provedbe ovakvih projekata često su potrebni dodatni izvori financiranja pa je uspostavljanje suradnje s vanjskim investitorima od presudne važnosti.²²

4.1. Austrija i Slovenija

Jedan od primjera dobre prakse jest obnova Gornjeg toka rijeke Mure u Austriji koji pokazuje kako je moguće uskladiti ekološke interese s energetskim potrebama vodeći se načelima održivoga razvoja. Gornji tok rijeke Mure smatra se jednim od ekološki najvrjednijih rijeka Austrije, a prekogranični dio Mure predstavlja najveće aluvijalno područje poplavnih šuma

²⁰ Studija utjecaja na životnu sredinu i dokaza za izdavanje ekološke dozvole za hidroenergetsko postrojenje "Dabar" - Segment voda, Zavod za vodoprivredu, d.o.o. Sarajevo, 2012., str. 85-90.

²¹ Usp. Studija glavne ocjene prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu HE Ombla, Zagreb, 2015.

²² Usp. Upravljanje vodnim resursima u jugoistočnoj Europi ECSSD - okolišni i društveno-održivi razvoj regije, Europe i Centralne Azije, 2003., str. 52-56.

poznatih u Europi, koje čine bogata poplavna staništa s tekućicama i stajaćicama, močvarama, vlažnim travnjacima i poplavnim šumama. Sustavna regulacija rijeke započela je krajem 19. stoljeća. Sve većim intenziviranjem poljoprivredne proizvodnje u poplavnim šumama, te brojnim zahvatima na rijeci, došlo je do reduciranja protočnosti rijeke što je rezultiralo gubitkom staništa, i ugrozilo ekološku stabilnost u dolini, a izgradnja hidroelektrana utjecala je na kontaminaciju nanosa i sedimenata. Uočivši ozbiljnost situacije iz prethodno navedenih činjenica učinjeni su potrebeni koraci, te je proces sanacije na području Gornje Mure i "Grenzmura" započeo 1997. godine.²³

Sve aktivnosti i mjere provodile su se u koordinaciji s bilateralnom riječnom Komisijom, a zajednička suradnja među zemljama, te prijenos znanja i tehničkih informacija, s ciljem poboljšanja rijeke bila je od presudnog značaja, jer 45 km rijeke oblikuje nacionalnu granicu prema Sloveniji na jugoistoku Austrije. Financiranjem iz različitih programa EU-a, te nacionalnim i regionalnim sredstvima, omogućena je restauracija više od 22 km rijeke u gornjem toku i slovenskom pograničnom dijelu. Donesen je ključni dokument - Plan upravljanja za Muru 2014. godine, kojim su regulirani različiti interesi svih korisnika od vodoprivrede, zaštite prirode, energetske ekonomije, koji su sukladni zahtjevima EU Okvirne direktive o vodama, Direktive o poplava i Direktive o obnovljivoj energiji. Razvoj plana u okviru regionalnoga programa odnosi se na poštivanje obveznih energetskih ciljeva za širenje hidroelektrana samo kao obnovljivoga izvora energije uza zadržavanje/poboljšanje ekološkoga stanja rijeke Mure. Plan i oznake (zone) postale su pravno obvezujuće za razdoblje od 10 godina. Utvrđene su tri zone: prioritetne ekološke zone u kojima je isključena mogućnost bilo kakvoga hidroenergetskog iskorištavanja, prijelazne zone s niskim hidroenergetskim potencijalom u kojima je dopuštena izgradnja samo ukoliko ne izaziva negativne ekološke posljedice za okoliš. Posljednje su zone one koje nisu posebno označene gdje se dio rijeke već koristi u energetske svrhe jer područje nije ekološki pretjerano osjetljivo. Projektom je ispunjen glavni cilj, a to je prije svega bila obnova, unaprjeđenje, te dugoročna zaštita ovoga vrijednog riječnog krajolika, obnova i rekonstrukcija izgubljenih staništa u pojedinim područjima, zatim reaktivacija poplavnih područja, te podizanje javne svijesti što je ostvareno preko brojnih radionica i kampanja. Ovaj je projekt dobar primjer nove politike u Austriji, koja primjenjujući holistički pristup upravljanju vodama, sukladan EU Direktivi o vodama, uvažava potrebe za očuvanjem prirode, sa zahtjevima dobivanja obnovljivih izvora energije iz malih hidroelektrana.²⁴

4.2. Estonija i Rusija

Primjerice i suradnja između Estonije i Rusije predviđava kako i zemlje u tranziciji mogu zajedničkim mehanizmima uspješno surađivati i rješavati prekogranične probleme vezane za raspodjelu resursa voda. Riječ je o upravljanju prekograničnim vodama u jezeru Peipsi/Chudskoe, koje se nalazi na granici između Estonije i Rusije, a predstavlja četvrtu po veličini najveće prekogranično jezero u Europi. Dio sliva pripada Finskom zaljevu povezano preko rijeke (Narva dužine 77 km), a ukupna površina jezera je 47.800 km² i dijele ga Rusija, Estonija i Latvija. Nakon uspostavljanja granica i potpisivanjem prvoga ugovora o graničnim prijelazima 1993. godine, 1995. godine uslijedilo je potpisivanje niza sporazuma. Sporazum o zaštiti i regulaciji ribljih resursa između jezera Peipsi i jezera Lammi, 1995. godine. Godine 1997. potpisana je Sporazum o zaštiti i održivoj uporabi prekograničnih tijela voda u skladu s Konvencijom o vodama (Helsinki, 1992.). Osnovana je Međunarodna komisija koja je koordinirala provedbu sporazuma. Zadaci komisije bili su razmjena i praćenje podataka između stranaka sukladno s dogovorenim programima praćenja, zatim su definirana prioritetska područja na temelju kojih su razvijene studije o zaštiti i održivom korištenju voda. U rad međunarodne komisije bile su uključene nevladine organizacije i lokalne vlasti. Godine 1998. potpisana je sporazum na najvećoj razini u rješavanju svih problema (gospodarske, trgovinske, znanstvene,

²³ Usp. (www.gwp.org/en/ToolBox). Case study: Restoration of Mur River: ecological values and hydropower generation aligned, Austria, str. 1-5.

²⁴ Isto, str. 5-7.

tehničke, humanitarne, socijalne i kulturne suradnje) stvarajući dobru osnovu za pravnu i političku suradnju. Vanjsku finansijsku i tehničku, te stručnu podršku pružili su: Švedska agencija za zaštitu okoliša (EPA), tehnička, stručna i finansijska potpora od danskoga EPA i danskoga Ministarstva vanjskih poslova, Norveške vlade, Nordijskoga vijeća ministara, UNDEP-a, EU-a, SAD-a i drugih agencija.²⁵

Mehanizmi koji su primjenjeni a koji predstavljaju temelj integralnoga upravljanja jesu: razvijanje dobre politike za upravljanje resursima voda, uspostavljanje suradnja s prekograničnim organizacijama za upravljanje resursima voda, podrška civilnoga društva i društvenih organizacija, razvoj kapaciteta, te dijeljenje i stvaranje baze znanja o upravljanju resursima voda, razvoj planova upravljanja vodama, zajednička vizija i planiranje, podizanje svijesti kroz kampanje, dijeljenje podataka na nacionalnoj i međunarodnoj razini i međunarodna tehnička i finansijska pomoć u provedbi nacionalnih politika preko ugovora, protokola i bilateralnih sporazuma koji čine dobru osnovu pravne i političke suradnje. Ova studija predočava kako se poduzetim akcijama i inicijativama može uspostaviti učinkovita prekogranična suradnja resursima voda što ih dijeli zemlje u tranziciji. Također pokazuje kako razvoj kooperativnih pristupa za upravljanje vodama omogućuje ekološki održivo korištenje prirodnih resursa kao i poboljšanje socijalnih i ekonomskih uvjeta života u regiji.

4.3. Česka

Također i u Republici Českoj međunarodna suradnja sa susjednim zemljama je veoma važna jer tri važna međunarodna riječna sliva pokrivaju njezin teritorij, i to sлив Elbe, Odre i Dunava. S 14 zemalja čini jednu od ugovorenih strana Konvencije za zaštitu rijeke Dunava. Međunarodnu suradnju sa susjedima ostvaruje surađujući s UNECE-om, kao i preko multilateralnih i bilateralnih ugovora za upravljanje vodama surađujući s Austrijom, Njemačkom, Poljskom i Slovačkom koje imaju slične ciljeve prema Konvenciji o vodama UNECE-a. Svi međunarodni ugovori, koji se odnose na prekograničnu suradnju resursa voda, moraju biti sukladni s međunarodnim pravom. U slučaju bilo kakvih nesuglasica, postoje mehanizmi koji izvješćuju i ocjenjuju koliko se ugovorene strane pridržavaju postavljenih pravila.

4.4. Španjolska i Portugal

Dobru suradnju u prekograničnom upravljanju vodama također su uspostavile Španjolska i Portugal još 1864. godine ponajprije ugovorom o granicama, a dijeli ih pet glavnih rijeka. Suradnja je nastavljena 1998. godine potpisivanjem nekoliko Konvencija o suradnji za zaštitu i održivo upravljanje vodama, portugalsko-španjolskim slivovima, naglašavajući razvoj hidroenergetskoga potencijala ali s aspekta održivosti korištenja, upravljanja i dijeljenja resursa voda između ovih zemalja. To je jedino moguće ostvariti provedbom zajedničkih aktivnosti poput zajedničkim mehanizmima upravljanja riječnim slivovima, zaštitom ekosustava, transparentnošću, razmjenom informacija preko tehničkih radnih skupina, sudjelovanjem javnosti, organiziranjem posebnih radionica itd.

ZAKLJUČAK

Područje Dinarskoga krša je veoma osjetljivo, geografska građa reljefa i poroznost stijena utjecala je na neravnomjernost i raspored padalina pa je podzemno kretanje vode izražajnije od površinskoga. Kroz analizu PP Hutovo blato osvrnuli smo se na sve antropogene čimbenike u prostoru koji su značajno izmijenili karakter ovoga močvarnoga područja, a koji su sve brojniji počevši od nedovoljnog provođenja odredbi Ramsarske konvencije, izgradnje akumulacija, požara, krivolova, uništavanja kulturne baštine, a osobito uništavanja iznimnoga bogatstva biodiverziteta, kao i nedovoljne podrške nadležnih institucija u provedbi zaštite ovoga područja. U radu smo se također osvrnuli na projekt Gornji horizonti čija je realizacija dovela do

²⁵ Usp. (www.gwp.org/en/ToolBox). Case study: Estonia And Russia: Managing Transboundary Waters In The Lake, Peipsi/Chudskoe Basin, str. 1-10.

promjene prirodnoga režima vode na području parka. Temeljem dostupnih izvora u radu je prikazan povijesni pregled ovoga projekta kao i posljedice koje je dosad proizveo na području Hutova blata. Glavni problem je međunarodni karakter projekta iz koje proizlazi i nemogućnost adekvatne suradnje, a posebice nepoštivanje međunarodnih ugovora i konvencija. Da je ipak moguće racionalno upravljati vodnim resursima, koji se protežu između dvije ili pak više država, pokazali smo na europskim primjerima dobre prakse, na primjeru Austrije i Slovenije, ali i na primjeru tranzicijskih zemalja Estonije i Rusije. Dobra politička volja kao i angažman sudionika svih struka u rješavanju ovakvih problema, te podizanje javne svijesti kroz radionice i kampanje je od presudne važnosti.

REFERENCE

Planovi i studije

- *Akciski plan za revitalizaciju močvarnog ekosustava Hutova blata*, WWF, 2014.
- *Nacrt Prostornog plana PP Hutovo blato*, Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja HNŽ/K, Ecoplan d. o. o. Mostar, 2013.
- *Okvir Plana upravljanja riječnim slivom Neretve i Trebišnjice*, Elektroprojekt d. d. Zagreb, 2015.
- *Studija utjecaja na životnu sredinu i dokaza za izdavanje ekološke dozvole za hidroenergetsko postrojenje "Dabar" - Segment voda*, Zavod za vodoprivredu, d.o.o. Sarajevo, 2012.
- *Studija glavne ocjene prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu HE Ombla*, Zagreb, 2015.
- *Upravljanje vodnim resursima u jugoistočnoj Europi* ECSSD - okolišni i društveno-održivi razvoj regije, Europe i Centralne Azije, 2003.

Knjige i članci

- BOŽIĆEVIĆ, SREĆKO, (1992.), *Fenomen krš*, Školska knjiga, Zagreb.
- HERCEG, NEVENKO, (2013.), *Okoliš i održivi razvoj*, Sveučilište u Mostaru, Mostar.
- LUČIĆ, Ivo, (2007.), "Gornji horizonti i Donja Neretva", u: *Hidroenergetika i okoliš*, br. 171, Zagreb.
- PALAMETA, MIROSLAV - RAGUŽ, MIRO - ŠUTALO, MARINKO, (2014.), *Tajna Boljuni*, SMART, Raguž & Barbarić design, Stolac.
- PETRIČEC, MLADEN - RIČKOVIĆ, VEDRANA - LUBURA-MATKOVIC, TANJA, (2008.), *Analiza utjecaja gradnje RHE Čapljina na izdašnost izvora u Donjoj Neretvi*, Institut za elektroprivredu i energetiku d. d., Zagreb.
- RADOVIĆ, JASMINKA - VEGO, JAROSLAV - RAGUŽ, MIRNA - ŠTEFAN, ANDREA,(2002./2003.) "Donji tok Neretve prekogranično močvarno područje", u: *Hercegovina, godišnjak za kulturu i povijesno naslijeđe*, br. 8-9, (16-17), Mostar.
- TUTUMAN, PERO - ĆALETA, MARKO - GLAMUZINA, BRANKO - DULCIĆ, JAKOV, "Biološko-ekološke osobitosti, rasprostranjenost i stanje zaštite peškelta na području močvare Hutovo Blato u Bosni i Hercegovini", u: *Croatian Journal of Fisheries*, Vol. 70, No. Suplement, 1/2012.
- UZELAC, ANTE, (2001.), *Prostorno planiranje*, Dom i svijet, Zagreb.
- VRANJEŠ, MIJO - PRSKALO, MAJA - DŽEBA, TATJANA, (2013.), "Hidrologija i hidrogeologija sliva Neretve i Trebišnjice", u: *Zbornik radova*, br. 5, Mostar.
- ZMAIĆ, VESNA - MIHOLJEK, IGOR, "Podvodno arheološko istraživanje lokaliteta Desilo - Hutovo Blato", u: *Godišnjak hrvatskog restauratorskog zavoda*, 4/2013.

Web izvori

- (www.gwp.org/en/ToolBox). *Case study: Restoration of Mur River: ecological values and hydropower generation aligned*, Austria.
- (www.gwp.org/en/ToolBox). *Case study: Estonia And Russia: Managing Transboundary Waters In The Lake, Peipsi/Chudskoe Basin*.
- (<http://www.karsthabitats.ba/podrucje-istrazivanja.html>).
- (<http://www.zastita-prirode.hr/Aktivnosti-projekti-i-medunarodna-suradnja/Projekti/Ostali-projekti/Parkovi-Dinarskog-luka>).
(<http://www.stolac.co/nekropolaboljuni/index.html>).

- "The United Nations World Water Development Report 2014.", u: *Water and Energy*, Publication.