

3. BH Kongres o vodama
3rd B&H Water Congress

ZBORNİK RADOVA

/

PROCEEDINGS

11. i 12. maj 2022.

11th and 12th May 2022

Holiday Hotel, Sarajevo, BiH

Izdavač / Publisher:

Association of Consulting Engineers Bosnia and Herzegovina
Udruženje Konsultanata Inženjera Bosne i Hercegovine
Udruga Konzultanata Inženjera Bosne i Hercegovine
Удружење Консултаната Инжињера Босне и Херцеговине

Put života bb
71000 Sarajevo
Bosna i Hercegovina

tel: +387 33 276 336
fax: +387 33 276 355
e-mail: uki@bih.net.ba
URL: www.uki.ba

Za izdavača / Publisher:

Ešref Gačanin

Urednik / Editor:

Nataša Stanišić

Grafički urednik / Layout editor:

Edita Čaušević

Štampa / Press:

CPU Printing Co.
<https://www.cpu.ba/>

ISSN 2831-0004 (Online)

Tiraž / Edition:

150 primjeraka / 150 copies

3. BH Kongres o vodama
3rd B&H Water Congress

ZBORNİK RADOVA

/

PROCEEDINGS

11. i 12. maj 2022.
11th and 12th May 2022

Holiday Hotel, Sarajevo, BiH

Organizator / Organizer:



Association of Consulting Engineers Bosnia and Herzegovina
Udruženje Konsultanata Inženjera Bosne i Hercegovine
Udruga Konzultanata Inženjera Bosne i Hercegovine
Удружење Консултаната Инжињера Босне и Херцеговине

Naučno - stručni odbor / Scientific Board

| Tarik Kupusović

Predsjednik / Chairman

Admir Softić

Adnan Habibović

Adnan Pašalić

Almir Bijedić

Amela Ćerić

Amra Serdarević

Anisa Čičić - Močić

Barbara Karleuša

Borislava Blagojević

Boško Kenjić

Branislav Đorđević

Branka Trininić

Dalila Jabučar

Damir Bekić

Damir Brđanović

Dragan Mitrović

Damir Mrđen

Emina Hadžić

Enko Hubanić

Erna Zildžović

Ferid Skopljak

Giuseppe Tito Aronica

Goran Sekulić

Gordan Prskalo

Hata Milišić

Hazim Zečević

Izet Žigić

Jelena Jokanović

Katerina Donevska

Maja Đogo

Mario Krzyk

Michael Tritthart

Milan Gocić

Miroslav Milanović

Mirza Hujjić

Nataša Markovska

Neđo Đurić

Nevenko Herceg

Ognjen Bonacci

Sejad Delić

Selma Čengić

Slavko Bogdanović

Slobodan Kovačina

Suad Špago

Svjetlana Stanić - Koštroman

Tomislav Lukić

Zoran Božović

Željko Rozić

SADRŽAJ

/

CONTENT

Sesija 1 / Session 1

- 16 | **Tarik Kupusović**
Vodno inženjerstvo i održivost
Water engineering and sustainability
- 30 | **Anisa Čičić-Močić,
Nusmir Pašić**
Procjena tereta zagađenja vodnih resursa koji potiču sa deponija na vodnom području rijeke Save u Federaciji BiH
Estimation of loads of pollution of water resources originating from landfills in the water area of the Sava river in the Federation of B&H
- 48 | **Ivan Vučković, Mladen Plantak, Koni Čargonja-Reicher, Ivan Antunović, Ana Sudar, Damir Mrđen, Tihana Gašević, Emil Bakula, Dalibor Lasić**
Plan upravljanja vodama na vodnom području Jadranskog mora u Federaciji BiH za razdoblje 2022-2027. Mogućnosti i izazovi
Water Management Plan in the Adriatic Sea basin in the Federation of B&H for the period 2022-2027. Opportunities and challenges
- 58 | **Damir Bekić, Dijana Oskoruš, Samo Grošelj, Emina Hadžić, Florjana Ulaga, Marina Babić Mladenović**
Nacrt plana upravljanja nanosom za sliv rijeke Save
Outline of the Sediment Management Plan for the Sava River Basin
- 70 | **Nino Rimac, Almir Bijedić, Azra Babić, Esena Kupusović**
Analiza kiša kratkog trajanja sa osvrtom na utjecaj klimatskih promjena u Sarajevu i Mostaru – ITP dijagram
Analysis of short-term rain with reference to the impact of climate change in Sarajevo and Mostar – ITP diagram
- 82 | **Mustafa Kemal Türkeri**
Obskrba pitkom vodom pod uticajem suše i klimatskih promjena: Centar grada Kahramanmaraş kao studija slučaja
Drinking water supply under drought and climate change impacts: Kahramanmaraş City Centre as a case study
- 98 | **Siniša Maričić**
Vodni parametri Posavine
Water parameters of Posavina

Sesija 2 / Session 2

112 | **Damir Brđanović**

Inovacije u sanitaciji - snovi ili stvarnost?
Sanitation innovations - dreams or reality?

142 | **Štěpán Šantrůček**

Razvojni projekti Češke Republike u sektoru vode u Bosni i Hercegovini
Development projects of the Czech Republic in the water sector in Bosnia and Herzegovina

146

Peter M. Rudberg, Selma Čengić, Svjetlana Lolić, Amar Čaušević, Bernardas Pedegimas

Projekat BiH ESAP 2030+
Project B&H ESAP 2030+

158

Hata Milišić, Emina Hadžić, Suvada Šuvalija

Upravljanje i smanjenje otjecanja oborinskih voda u urbanim područjima
Management and reduction of storm water runoff in urban areas

170

Vanda Piškur, Darija Vukić Lušić, Arijana Cenov, Belma Hajdarević, Sanja Živković, Danijela Lenac, Tea Frković, Damir Togunjac

Riječki izvori u sušnom razdoblju
Springs of Rijeka during the draught period

182 | **Nerma Lazović, Emina Hadžić**

Pregled terenskih i numeričkih istraživanja deformacije korita rijeke Željeznice na području Sarajevskog polja
Review of field and numerical research of the riverbed deformation of the Željeznica river in the area of field "Sarajevsko polje"

196

Ferid Skopljak, Natalija Samardžić

Realizacija projekta RER 7013: "Uticaj klimatskih promjena na resuse podzemnih voda i interakcija podzemne i površinske vode u slivu rijeke Save"
Realization of the RER 7013 project: "Influence of climate change on groundwater resources and groundwater and surface water interaction in the Sava river basin"

Sesija 3 / Session 3

- 206 | **Aljoša Dizdarević, Ahmed Busuladžić, Sanja Delija**
 Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda „Butile“ Sarajevo
The Waste Water Treatment Plant „Butile“ Sarajevo
- 214 | **Nedžad Mekić**
 Morfološkepromjene riječnog korita usljed djelovanja bujičnog tečenja na primjeru potoka Lučica
Morphological changes of the riverbed due to the action of torrent flow on the example of the Lučica steam
- 234 | **Tanja Lubura Matković, Renata Vidaković Šutić, Vedrana Ričković, Mario Spajić**
 Revitalizacija pilot područja Zmajevačkog Dunavca i Biljskog rita u Republici Hrvatskoj kao sastavni dio projekta Wetland Restore
Revitalization of the pilot area of Zmajevački Dunavac and Biljski rit in the Republic of Vroatia as an integral part of the Wetland Restore project
- 246 | **Kerim Hrapović**
 Prirodno ("naturalno") uređenje riječnih tokova
Natural regulation of river flows
- 260 | **Ana Buljubašić, Nevenko Herceg, Svjetlana Stanić-Koštroman, Valentina Bevanda**
 Ekotoni kao osjetljivi pokazatelji promjena u okolišu
Ecotones as sensitive indicator of changes in the environment
- 274 | **Jovana Topalić Marković, Vladimir Mučenski, Tiana Milović, Mladenka Novaković**
 Potencijal prirodnog zeolita koji se koristi kao apsorber u prečišćavanju otpadnih voda u Srbiji
The potential of natural zeolite use as adsorbent in wastewater treatment in Serbia
- 284 | **Anđelka Lasić, Valentina Bevanda, Ana Buljubašić, Anita Dedić, Dragan Škobić, Sanja Duranović, Renato Vidić**
 Ekološke i ekonomske značajke mediteranske močvare Hutovo blato
The hutovo blato wetland- an integrated ecological and economic approach
- 294 | **Anita Dedić, Dragan Škobić, Svjetlana Stanić-Koštroman, Sanja Duranović, Anđelka Lasić, Dubravka Hafner**
 Krški izvori- ekološki status, praznine i budući izazovi
Karstic springs-current ecological status, gaps and future
- 302 | **Sanja Duranović, Josip Primorac, Svjetlana Stanić-Koštroman, Renato Vidić, Anđelka Lasić, Anita Dedić, Jerko Pavličević**
 Ekološki status rijeke Neretve
Ecological status of the Neretva river

310 | **Ivona Čule, Zlata Grabovac,
Marija Kvesić**

Procjena kvalitete vode rijeke

Radobolje

*Water quality assessment of the
Radobolja river*

318

**Ratko Ristić, Armin Hadžialić,
Siniša Polovina, Boris Radić,
Šemsa Imširović, Vukašin
Milčanović, Ivan Malušević**

Karta erozije Federacije BiH i Brčko
distrikta kao podloga za izradu
koncepta prevencije bujičnih poplava
*Erosion map of the Federation of B&H
and Brčko district, as the basis for the
development of the torrential flood
prevention concept*

328

**Mladenka Novaković, Maja
Petrović, Jovana Topalić
Marković, Ivana Mihajlović,
Vladimir Mučenski**

SWOT analiza implementacije
novouopotrijebljenih adsorbera
za uklanjanje ostataka pesticida iz
tokova otpadnih voda

*SWOT analysis of implementation
of newly utilized adsorbents for
removal of pesticide residues from
wastewater streams*

334

**Amar Žilić, Eldina Smječanin,
Zarema Obradović, Ema Pindžo**

Povezanost prisustva legionella
spp. u sistemu vodosnabdjevanja
stomatoloških stolica sa starošću
objekata u kojem su stomatološke
ordinacije smještene

*Relationship between the presence
of legionella spp. in the water supply
system of dental chairs with the age
of the facilities in which the dental
offices are located*

Sesija 4 / Session 4

- 346 | Naomi Timmer, Rasha Hassan**
H₂O projekat
H₂O project
- 354 | Omer Kovčić, Mufid Tokić**
Upravljačke odluke upravljanja višenamjenskom akumulacijom i slivom
Operational decisions of multipurpose reservoir and basin management
- 362 | Mirza Mujčić, Nino Rimac, Nijaz Lukovac, Azra Babić**
Trendovi u hidrološkim analizama/ rezultati analiza za određene HS u slivu Save
Trends in hydrological analysis/ results of analysis for certain HS in the Sava river basin
- 372 | Adnan Habibović, Arnela Konak, Indira Murtić**
Uticaj izgradnje brze ceste Mostar - Široki na postojeću kanalsku mrežu Imotsko-Grudskog polja
The impact of the construction of the Mostar - Široki highway on the existing canal network of Imotski - Grudsko polje
- 380 | Adnan Habibović, Tatjana Borovina, Benjamin Bibić**
Zaštita izvorišta pitke vode u obuhvatu trase autoceste, zaštita izvorišta u općini Usora
Protection of drinking water sources within the highway route, protection of sources in Usora municipality
- 388 | Borislava Blagojević, Ajla Mulaomerović-Šeta, Žana Topalović, Bojana Nedić, Mirza Mujčić**
Iskustva u korištenju regionalnih analiza za ocenu kvantila velikih voda na teritoriji BiH
Experience in using regional analyzes to assess large water quintiles in B&H
- 406 | Dragan Škobić, Jasmina Kamberović, Selma Otuzbir-Mecan, Svjetlana Lolić, Snežana Radulović, Anđela Jakšić-Stojanović, Dušanka Cvijanović**
ERASMUS projekti u ekološkom monitoringu na primjeru ECOBIAS projekta
ERASMUS projects in ecological monitoring by the example of ECOBIAS project
- 414 | Milan Gocić, Emina Hadžić, Barbara Karleuša**
Modernizacija nastavnog procesa u oblasti upravljanja vodnim resursima na Zapadnom Balkanu
Modernization of the teaching process in the field of water resources management in the Western Balkans

Okrugli sto / Round table

Energetsko iskorištenje potencijala BiH

Energy utilization of B&H hydropotential

426 | **Tarik Kupusović**

Hidroenergetski potencijal
Hydropower potential

436 | **Hazim Zečević**

Trenutna saznanja o
tehnički iskoristivom
hidroenergetskom potencijalu
u BiH i plan njegovog korištenja
*Current knowledge on the usable
hydropower potential in B&H
and the plan for its use*

444 | **Slobodan Kovačina**

Uloga hidroelektrana u ublažavanja
uticaja klimatskih promjena i u
procesu energetske tranzicije
*The role of hydropower plants in the
process of mitigating the effects of
climate change and energy transition*

454 | **Emina Hadžić**

Održivost hidroenergije sa aspekta
uticaja na okoliš
*Sustainability of hydropower in terms
of environmental impact*





SESIJA 1 / SESSION 1

Vodno inženjerstvo
i održivost

/

Water engineering
and sustainability

Prof. dr. Tarik Kupusović

Institut za hidrotehniku Sarajevo

S. Tomića 1

Tarik.kupusovic@heis.ba

Ovo je skraćena verzija autorovog originalnog rada „Hydraulic Engineering and Sustainability“, objavljenog u najvećem izdavačkom projektu na svijetu „Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals“ (Springer; Ima i na <https://www.researchgate.net/profile/Tarik-Kupusovic>).

Nakon napomena o istorijskom razvoju vodnog inženjerstva i održivosti hidrauličkih struktura, te opisa trenutne situacije i trendova, dolazi se do aktuelnog razvoja Industrije 4.0 i njene primjene u sektoru voda. Digitalna i komunikacijska revolucija, mašinsko učenje i vještačka inteligencija, robotika, napredni senzori, satelitske tehnologije i drugo, već u primjeni u razvijenim industrijama, trgovini i maloprodaji, saobraćaju i energetici, fundamentalno mijenjaju tradicionalističke pristupe i otvaraju nove puteve rješavanja vodnih izazova. U radu se navode, u razvijenom svijetu ponegdje već primjenjena napredna rješenja, te diskutuju postojeće prepreke i šanse u zemljama u razvoju, kao i pravci daljih transformacija upravljanja vodama. Ključna je procjena potencijalnih rješenja i donošenje mudrih odluka od strane informiranih sudionika, koje balansiraju okolišne, društvene i ekonomske interese, jer voda jeste javno dobro, ali i posebna ekonomska kategorija.

Ključne riječi

Voda, hidraulika, održivost, UN ciljevi održivog azvoja, industrijska revolucija 4.0

This is an abridged version of the author's original work "Hydraulic Engineering and Sustainability", published in the largest publishing project in the world "Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals" (Springer; Also available at <https://www.researchgate.net/profile/Tarik-Kupusovic>).

After notes on the historical development of water engineering and the sustainability of hydraulic structures, as well as a description of the current situation and trends, we come to the current development of Industry 4.0 and its application in the water sector. The digital and communication revolution, machine learning and artificial intelligence, robotics, advanced sensors, satellite technologies and others, already in use in developed industries, trade and retail, transport and energy, are fundamentally changing traditionalist approaches and opening new ways of solving water challenges. In the paper, advanced solutions that have already been applied in some places in the developed world are cited, and existing obstacles and opportunities in developing countries are discussed, as well as directions for further water management transformations. The key is the evaluation of potential solutions and the making of wise decisions by informed participants, which balance environmental, social and economic interests, because water is a public good, but also a special economic category.

Key words

Water, hydraulics, sustainability, UN sustainable development goals, industrial revolution 4.0

Vodno inženjerstvo ili hidrotehnika je primjena nauke i tehnologije vezano za kretanje vode. Održivost je mogućnost trajnog postojanja. Posljednjih decenija, održivost se pretežno odnosi na mogućnosti koegzistencije globalne civilizacije i biosfere, ali se takođe definiše na regionalnom, nacionalnom, lokalnom i porodičnom nivou.

Ma li išta ljepše u savremenoj civilizaciji od istuširati se toplom vodom, jednom ili više puta dnevno? To je jedna od potreba i ugođaj u kojem se uživa i želi ga se održati u budućnosti. Šta je neophodno za to zadovoljstvo? Naravno: čista voda, energija, odgovarajuća infrastruktura i kućni standard.

Vodno inženjerstvo je jedna od najstarijih tehnologija građevinarstva. Ljudi koriste vodu, štite se od njenih škodljivih uticaja, te štite kvalitet voda.

Voda je neophodna za čovjeka, civilizaciju i biosferu – život poznat na Zemlji moguć je samo s vodom i u vodi. Održivost voda omogućuje vodni (ili hidrološki) ciklus, znači kontinuirano kretanje vode po, iznad i ispod zemljine površine. Korištenjem voda, ljudi se upliću u taj prirodni ciklus, pa projektovanje, izgradnja, upravljanje i održavanje hidrotehničkih struktura mora biti veoma pažljivo.

Civilizacija je koncept originalno vezan za grad. Prelaz sa lovstva i sakupljanja prirodnih plodova na poljoprivredu i stalna naselja, značio je bitan porast populacije i život većih skupina ljudi na jednom području, prije 10-ak hiljada godina. Ova društva su radikalno mijenjala svoj lokalni prirodni okoliš kultivacijom zemljišta i građevinskim radovima. Civilizacije su se razvile blizu pogodnih izvorišta vode, jer gradovi trebaju vodu, ali i njen odvod i zbrinjavanje otpadnih voda (sanitarije); inače bi mogli opstati samo kraće vrijeme i ne bi bili održivi.

Hidrotehnika je znači svjesna intervencija u hidrološki ciklus, s ciljem korištenja voda za potrebe ljudi. Prve civilizacije štatile su se od poplava, ljudi su se kretali duž, ili preko rijeka, jezera i mora, da bi bili što dulje održivi. Danas se korištenja voda obično klasifikuje kao kućno, industrijsko, poljoprivredno i okolišno. Vodni izazovi uključuju ekstremne događaje, kada je previše, ili kada je premalo vode, te zagađivanje voda.

Hidraulika kao primjenjena inženjerska nauka

Hidraulika je tehnologija o kretanju vode. Naučna osnova hidraulike je mehanika fluida. Osnovni aksiomi mehanike fluida su zakoni održanja i pretpostavka kontinuuma. Molekularna struktura fluida se apstrahuje i uzima u obzir kroz njegove fizičke osobine, od kojih su najvažnije gustina, viskozitet i površinski napon. Fluid je materija koja se kontinualno deformiše (teče, struji) pod dejstvom i najmanjih smičućih napona. Smičući napon je odnos veličina smičuće sile i površine. Strujanje fluida se opisuje setom parcijalnih diferencijalnih jednačina, koje predstavljaju kombinaciju jednačine održanja mase sa dinamičkom jednačinom, baziranoj na Newton-ovom zakonu. Otpor deformisanju, tj. tečenju, najčešće se opisuje empirijskim, eksperimentalnim relacijama, specifičnim za tip tečenja i čvrstu konturu (cijevi, kanali), ili tijela u relativnom kretanju kroz fluid (npr. brodska hidrodinamika).

Hidraulika u građevinarstvu je praktična inženjerska primjena mehanike fluida, primarno na vodu u kretanju. Hidraulika se bavi tečenjem vode u kanalima i rijekama, uključujući njihova ušća, tečenjem vode kroz cijevne vodove pod pritiskom, tečenjem podzemne vode, te transportnim procesima u vodi, uključujući transport nanosa, hidrauliku akumulacija vode, jezera i mora te hidrauličko fizičko modeliranje. Fizički hidraulički modeli se koriste tokom projektovanja za optimizaciju većih struktura i povećanje sigurnosti njihovog funkcionisanja, te kao pomoć javnosti u procesu donošenja odluka.

Hidrotehnika kroz istoriju civilizacija je u stvari istorija upravljanja vodama, jer prirodni vodni režim obično nije sklon potrebama ljudi. Ljeti, kada ljudi trebaju više vode, u prirodi je ima manje, dok je u kišnoj sezoni previše vode, koja može naškoditi naseljima, infrastrukturi,

zemljištu, imovini i odnijeti živote. Upravljanje vodama ima tri tehnička aspekta: korištenje voda, zaštitu voda i zaštitu od voda, te tri ne-tehnička aspekta: pravni, institucionalni i ekonomski.

Počeci hidrotehnike vezani su za navodnjavanje, vodosnabdijevanje naselja i sanitarne radove. Očigledno su prvi inženjeri bili svjesni osnovnih hidrauličkih koncepata, uključujući uvijek prisutnih sila gravitacije i pritiska, pošto su uspješno konstruisali vodne sisteme. Tehnologija transporta po vodama takođe se razvijala od prvih civilizacija. Stara egipatska civilizacija razvila se poljoprivredom s prirodnim i vještačkim navodnjavanjem duž Nila, koji je istovremeno služio i za komunikaciju, omogućavajući kretanje ljudi, roba i ideja, te dovodeći do političke unifikacije. U Evropi su u doba Rimske imperije konstruisani i održavani impresivni akvadukti za dovođenje vode, te kanalizacije u gradovima. Daljnje unaprjeđenje hidrotehnike bilo je u muslimanskom svijetu, od VIII do XVI stoljeća, kao pretača moderne tehnologije. Fontane i javne česme su bile društveni i kulturni centri gradova, odakle se životno važna svježa voda zahvatala za svakodnevni život. Tek prije sto i nešto godina, voda se cijevnim sistemima počinje dovoditi u zgrade i stanove.



Slika 1. Vodni točkovi – dolapi za navodnjavanje na rijeci Trebišnjici kod Trebinja, rekonstrukcija

Potrebe za vodom u prošlom stoljeću su dramatično povećane, pa je uloga hidrotehnike u dovođenju vode kritična. U mnogim aspekti-

ma, osnove hidrauličkog inženjerstva se nisu promijenile. Voda se još uvijek najčešće kreće gravitacijom, kroz sisteme kanala i tunela, rezervoara i detaljne mreže cijevnih vodova. Značaj plovidbe je izrazito povećan, pri čemu su izgrađeni mnogi kanali i luke. Tokom prve industrijske revolucije u Evropi i SAD-u, izgrađene su mnoge velike brane i druge hidrotehničke građevine, omogućavajući vremensku i prostornu preraspodjelu voda za snabdijevanje gradova, industrije, poljoprivrede i druge potrebe. Razvoj modernih metoda za statičku i dinamičku analizu hidrotehničkih objekata bio je paralelan onom generalno u građevinarstvu, mašinstvu i elektrotehnici, uz računarski hardver i softver, te fizičko modeliranje hidrauličkih pojava i struktura.

Moderni hidrotehnički inženjeri koriste sredstva kompjuterskog projektovanja kao i druge struke, uz korištenje kompjuterske mehanike fluida, prostorno lasersko skeniranje i GPS mapiranje, radi preciznog proračunavanja karakteristika tečenja i hidrotehničkih objekata. Najčešće su to brane i nasipi, mreže za distribuciju ili sakupljanje voda, uključujući kišne vode, zatim mapiranja poplava i upravljanje slivnim područjem, upravljanje nanosom, upravljanje i zaštita obalnih područja i ušća velikih rijeka, te razne druge oblasti transportnih procesa i pitanja povezanih sa vodama i drugim tečnostima. Hidraulici srodna oblast je hidrologija, za opis karakteristike prirodnog vodnog ciklusa. Danas je hidrauličko inženjerstvo istovremeno i tehnička i netehnička djelatnost, jer je simultano povezano sa ekonomskim, društvenim, okolišnim, pravnim i mnogim drugim aspektima. Projekti riječnog inženjerstva su izrazito multidisciplinarni, jer osim fizičkih karakteristika, kao što su morfologija, hidrologija, hidraulika ili režim nanosa vodotoka, moraju uzeti u obzir i sve ekonomske, okolišne, urbanističke i društvene uticaje, da bi bili održivi.

Održivost hidrauličkih struktura

Postoje brojne definicije održivosti. Većinom se vezuju za mogućnosti planete da izdrži ljudsko ponašanje. Glavna zabrinutost vezana je za potrošnju neobnovljivih i obnovljivih resursa, pri čemu se obnovljivi resursi, kao što je voda, ne bi trebali trošiti iznad mogućnosti njihove prirodne obnove.

Dok većina tehnologija i proizvoda za ljudske potrebe danas ima život od nekoliko godina do najviše par decenija, hidrauličke strukture su operativne po nekoliko stotina godina. Ako se hidrotehničke građevine, kao brane, nasipi, kanali, cijevne mreže i druge, kontinuirano održavaju u dobrom stanju, mogu trajati veoma dugo bez velikih rekonstrukcija, dok hidromehanička i elektro oprema brže dotrajava i neophodne su česte revitalizacije i modernizacije.

Više srednje temperature atmosfere usljed klimatskih promjena znače više energije u atmosferi, veće isparavanje vode i ubrzanje hidrološkog ciklusa, znači više vode u rijekama, ali pri tome neravnomjernije raspoređene u vremenu i prostoru, najčešće suprotno ljudskim potrebama. Hidrotehničke strukture iz prošlosti, kao i novoprotjektovane i izgrađene, moraju se adaptirati na ove neizbježne promjene.

U razvoju upravljanja vodnim resursima kao primarnom sredstvu održivog razvoja društva i ekonomije, problematika erozije i nanosa je uvijek bila veliki izazov. Svaka rijeka sadrži nanos kao važan prirodni dio toka. Obično se tokom više godina sedimentacija i erozija uravnoteže, tako da rijeka održava svoj oblik. Konstrukcija bilo kakve građevine na rijeci, s bilo kojom svrhom, ima aspekte nanosa. Mnogi od njih, prije ili kasnije, dovode do problema s nanosom. Sedimentacija ili erozija je „puzajući“ problem, pa je potrebno djelovati, prije nego što „iznenada“ postane

prekasno. Svaka brana na rijeci intenzivno mijenja balans nanosa. Akumulacija obično zadržava većinu nanosa, dok se nizvodno intenzivira erozija. Sve veća pažnja se fokusira na bolje razumijevanje procesa erozije i sedimentacije, naročito u akumulacijama i lukama. Postoje i mnoga tehnička rješenja za upravljanje odnosom između površinskog oticanja i erozije tla, te produkcije nanosa.

Zagađivanje voda postaje sve veće na mnogim mjestima, naročito u zemljama u razvoju. Zagađena voda često više nije resurs za mnoge ljudske potrebe, nego izvor nevolja i zaraznih bolesti.

Uz ubrzanje klimatski promjena, u vrijeme brzih društvenih, ekonomskih i okolišnih transformacija, održivost i prilagodljivost hidrauličkih struktura je ključna. Zato su neophodni inovativni pristupi, s rješenjima i upravljanjem prilagodljivim prirodi, koristeći kompjuterske, fotogrametrijske i druge savremene tehnologije, da bi se predvidjela buduća stanja pri raznim scenarijima.

Hidrauličko inženjerstvo za održivi razvoj

Vode postaju sve više i više ograničavajući faktor razvoja, kako u nerazvijenim, tako i u razvijenim zemljama. Kao prirodan resurs, vode su obnovljive, ali, uz klimatske promjene, mnogi faktori dovode do nedostatka vode u vremenu i na prostorima gdje su najpotrebnije. Svjetski ekonomski forum u Davosu, u posljednjih 10 godina stalno među najvećim rizicima navodi raspoloživost vode.

Razvijene zemlje su razvijene, jer, između ostalog, koriste svoje prirodne resurse efikasno i racionalno. Indeks korištenja vode, kao procenat srednjeg ukupnog godišnjeg zahvatanja vode u odnosu na srednju ukupnu godišnju količinu obnovljivih izvora svježe vode na nivou zemlje, u razvijenim zemljama je

15–40 %, a u zemljama u razvoju obično znatno ispod 5 % (Eurostat). Razvijene zemlje sada trebaju malo korigovati svoj način korištenja vode, na primjer renovirati stare hidroelektrane, ili ponešto adaptirati i modernizirati svoje sisteme za odbranu od poplava, ili smanjiti zagađivanje podzemnih voda, da bi postigle svoje ciljeve održivog korištenja voda. Razvijene zemlje su odavno kultivisale svoja močvarna i poplavna područja. Tu su nastali veliki gradovi i razvijena infrastruktura. Zemlje u razvoju, po internacionalnim konvencijama, svoja slična područja sada moraju zaštititi, ostaviti netaknutim kao prirodne ljepote. Pominje se razvoj održivog turizma, ali je to samo prazna priča. Bez saobraćajnica, hotela i restorana, te lokalnih poduzetnika malih biznisa, turizam u „nedirnutom“ ambijentu je samo za avanturiste, bez praktično ikakvog ekonomskog značaja i lokalnog razvoja.

Lideri i intelektualci nerazvijenih zemalja sada moraju nalaziti kopromise – okolišno, ekonomski i društveno održiva rješenja za svoje zajednice. Bez toga, ova divna područja praktično netaknute prirode, uključujući voda, ostaju takva, ali bez ljudi. Oni su u nekoliko siromašnih, prljavih i prenapučenih gradova. Dobra urbanizacija moguća je samo uz odgovarajući nivo razvijenosti, gdje su stanovnici u stanju platiti dobre urbane servise.

Inovativni koncepti u razvijenim zemljama su višestruko korištenje voda, hibridna infrastruktura voda slabijeg kvaliteta, te tržišna vrijednost pitke vode i upotrebjene vode, uključujući materijale i energiju u njoj. Međutim, pošto je iskorištenost voda u nerazvijenim zemljama veoma niska, prioritet za njih je razvoj hibridne, fizičko-digitalne vodne infrastrukture.

Većina profesionalaca u inženjerskom sektoru želi da ima uticaj. Oni rade ne samo zato što je to njihov posao, nego zaista vjeruju u poruke koje šire okolo. Žele pomoći u izgradnji boljeg

mjesta za život – još od početaka civilizacije. Profesionalna znanja i vještine su osnova inženjerskog rada. Ljudi će tražiti inženjerske projekte i usluge samo ako misle da inženjeri nešto bolje znaju od njih samih. Profesionalni inženjeri moraju imati i određena sociološka znanja. Moraju biti u stanju projekte vidjeti i iz ugla klijenta, kao i šire populacije, te razumjeti njihove stvarne zahtjeve. Inženjeri također moraju integrisati i tradicionalna znanja, jer je tu ključ uspjeha.

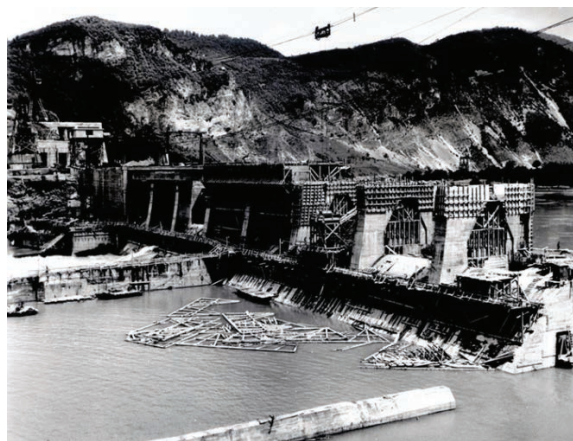
Glavnu ulogu u kreiranju civilne, ili civilizacijske infrastrukture, imali su inženjeri. Sve probleme u prirodi i uslugama ekosistema napravili su ljudi, pa oni, znači današnja civilizacija, moraju ih i riješiti, prije svega za današnje i buduće generacije. Šira javnost sada prepoznaje probleme napravljene u prošlosti, pa inženjeri moraju naći i predložiti nova, pametnija rješenja. Svih 17 Ciljeva održivog razvoja UN-a predviđa „Revaluaciju“, znači ponovnu procjenu svih vrijednosti. Sve se sada mora mijenjati, osim klime. Ali, klima se mijenja!

U posljednjih 150 godina, ljudske aktivnosti, uglavnom u danas razvijenim zemljama, dovele su do ispuštanja ogromnih količina ugljen dioksida i drugih gasova s efektom staklene bašte u atmosferu. Većina ovih gasova dolazi od spaljivanja fosilnih goriva u proizvodnji energije, industriji i transportu. Civilizacija se razvila i adaptirala na stabilnu klimu od posljednjeg ledenog doba, završenog prije nekoliko hiljada godina. Toplija klima dovela je do promjena u snabdijevanju vodom, poljoprivredi, energetske i transportnim sistemima, prirodnom okolišu, te ljudskom zdravlju i sigurnosti. Hidrološke promjene povećavaju rizike od poplava u kišnoj sezoni, dok se male vode tokom ljeta smanjuju, kada je voda najpotrebnija ljudima i ekosistemima.

Izgleda da inženjeri moraju opet odigrati svoju istorijsku ulogu, ako svijet, napose ne-

razvijene zemlje, žele ispuniti razvojne ciljeve. Svakome je neophodna čista voda i sanitacija (Cilj 6), održiva i pristupačna energija (Cilj 7), što znači brza tranzicija s fosilnih na obnovljive izvore (Cilj 11). Hidroenergija je najveći svjetski izvor obnovljive energije, sa oko 60 % globalne proizvodnje. Njen značaj se povećava mogućnošću integracije s povremenim obnovljivim izvorima, kao što su sunce i vjetar, omogućavajući dekarbonizaciju proizvodnje energije.

Za nerazvijene zemlje i regione, uz političku stabilnost, ključ je u održivom i racionalnom korištenju voda, tako da svi društveni i ekonomski sektori, kao i prirodni okoliš, uključujući ekosisteme i njihove uzajamne moguće usluge ljudima, imaju dobrobit. Voda je, između ostalog, prije svega ekonomsko dobro. Tehnička i ekonomska inteligencija u zemljama u tranziciji sve više prepoznaje ciljeve, politike, operativnu legislativu i reforme, uključujući i specifične projekte. Oni se moraju formulirati harmonizirano sa opštim UN, EU i drugim ciljevima i svjetskim trendovima, na pozitivnoj tradiciji i štiteći vlastite interese.



Slika 2. Rijeka Drina, Izgradnja hidroelektrane Zvornik, 1948-55, 96 MW, ex-Jugoslavija

Kakva je situacija i koji su trendovi danas, u 2022?

Mjerenja i monitoring voda

Mjerenja i monitoring voda rade se zbog razumijevanja procesa i upravljanja vodama. Mjerenje voda često se naziva hidrometrija – mjerenje količina voda. To je veoma stara aktivnost, od mjerenja nivoa vode, zapremine vode, brzine, do proticaja. Hidrometrija je zasebna i komplementarna hidrologiji (nauci o kretanju vode u prirodi) i hidraulici (fizici tečenja).

Hidrometrijski monitoring je regularno osmatranje i bilježenje karakteristika toka vode, proces rutinskog skupljanja informacija i njihove statističke obrade, uključujući interpretacije. To je kompleksan proces, pošto se tiče prirodnog okoliša i svih njegovih promjena, gdje potreban period osmatranja može biti dosta dugačak, obično nekoliko decenija.

Predviđanje i upravljanje riječnim tokovima neophodno je za upravljanje poplavnim rizicima, vodosnabdijevanje, poljoprivredu, energetiku i drugo. Samo oko jedne trećine do jedne polovine padavina na kontinente vrati se u okeane rijekama. Ostatak vode direktno ispari ili ih biljke konzumiraju. Količine voda su prostorno i vremenski vrlo neravnomjerno raspoređene, sezonski i višegodišnje. Ove neravnomjernosti mogu se sagledati samo stalnim mjerenjima. Kontinualno mjerenje proticaja nije moguće direktno, nego je rezultat eksperimentalnog procesa kombiniranog s dovoljno terenskih mjerenja.

Hidrometrija je radno zahtjevan proces, traži putovanja i terenski rad, koji kombinuje metrologiju, hidrauliku i hidrologiju. To je dugoročan posao, gdje stabilno finansiranje ima presuđujući uticaj na kvalitet podataka i dobivene informacije. Sa brzim napretkom

tehnologije, mehanički uređaji postaju istorija a pametno mjerenje s mnogim prednostima postaje standard.

Monitoring kvaliteta voda je mjerenje, pohranjivanje i interpretacija kvaliteta vode, kroz veliki broj – nekoliko stotina komponenti, ili konstituenata kvaliteta. Očigledno, nema nikakvog upravljanja vodama bez regularnog monitoringa kvantiteta i kvaliteta voda. Monitoring kvaliteta je osnovno sredstvo u upravljanju resursima svježih voda, jer daje bitne informacije o njihovom fizičkom, hemijskom, biološkom i mikrobiološkom statusu, određuje trendove i promjene tokom vremena, te identificira probleme kvaliteta u nastajanju. Problemi kvaliteta se moraju povezivati sa hidrološkim procesima i hidrološkim monitoringom, te smanjenjem i kontrolom izvora zagađivanja. Za sve ovo je neophodna napredna tehnologija i razvoj naučnih kapaciteta, uz značajnu internacionalnu saradnju.



Slika 3. Rijeka Dunav, Hidro sistem Đerdap, 2 x 1.150 MW, 1963-72, ex-Jugoslavija/Rumunija

To omogućava dobivanje pouzdanih, preciznih, kontinuiranih i sistematičnih činjenica o vodnim resursima, koje su neophodne za donošenje ispravnih mjera, planova i odluka. Mnoge hidrauličke strukture ne funkcionišu optimalno, zbog nedostatka adekvatnih informacija monitoringa u vrijeme njihovog projektovanja. Dodatno, monitoring treba da podiže javnu svijest, jer svaki građanin može i treba doprinositi kvalitetu okoliša, upravljanju kva-

litetom voda i odlukama. Sve ovo je odgovor na stvarnu javnu zabrinutost i zahtjeve za bolji okoliš i smanjenje izloženosti opasnostima u kontekstu klimatskih promjena i očuvanja bioraznolikosti.

Prilagođavanje na klimatske promjene je neophodno i neizbježno. To nije samo adaptacija na mijenjanje temperatura, nego takođe i vodnog ciklusa, kvantiteta i kvaliteta voda. Klimatske promjene imaju direktan uticaj na režim voda, tako da se sve treba učiniti za smanjenje emisija stakleničkih plinova, ali je isto tako važna i adaptacija na klimatske promjene, koje su gotovo sasvim o vodama.

Industrija 4.0

Prva industrijska revolucija počela je u XVIII vijeku mehanizacijom kroz snagu vode i vodene pare. Masovna proizvodnja i proizvodne linije korištenjem električne energije, s kraja XIX do 70-tih godina XX vijeka, bila je druga revolucija. Treća je započela kompjuterima i automatizacijom. Od prije 10-ak godina, s komunikacijskom revolucijom, u nekim industrijama dešava se kvalitativni skok s pametnim i autonomnim sistemima, kojim upravljaju mašine koje uče, uz skupljanje i hiperbrzu obradu ogromnog broja podataka. Ovako značajna transformacija proizvodnje zahvaljujući digitalizaciji, nazvana je „Industrija 4.0“. Danas je već praktično posvuda prisutna digitalna revolucija i vještačka inteligencija, mreže senzora sa brzim obradama podataka, zaključcima i odlukama, te tehnološki lanci naprednih, robotiziranih industrija. Srodne tehnologije transformišu krupnu trgovinu i maloprodaju, transport i energiju, zdravstvo i poljoprivredu, kao i mnoge druge oblasti. Industrija 4.0 dakle znači fuziju – ujedinjavanje digitalizacije sa tradicionalnim procesima.

Kada su kompjuteri uvedeni u Industriji 3.0, to je bio prelom zahvaljujući dodavanju

potpuno nove tehnologije. Sada su kompjuteri i komunikacijska sredstva posvuda, jeftina su i povezuju ljude u cijelom svijetu. Kako se razvija Industrija 4.0, kompjuteri se spajaju i komuniciraju međusobno, donoseći odluke, u krajnjem slučaju sa vrlo malo ili čak bez uključivanja ljudi. Kombinacija kompjutersko-fizičkih sistema, Interneta stvari i Interneta sistema omogućavaju u Industriji 4.0 „Pametne tvornice“, koje su već realnost u nekoliko industrijski najrazvijenijih zemalja. Kao rezultat podrške pametnih mašina, koje postaju sve pametnije sa sve više podataka, fabrike postaju efikasnije i produktivnije, sa manje otpada. U krajnjem, stvara se mreža tih digitalno povezanih mašina, koje kreiraju i dijele informacije, što je stvarna hipersnaga Industrije 4.0. Moto jedne od razvojnih firmi je „Budućnost pripada onima koji mogu pametno preraditi i sačuvati podatke“!

Slično industrijskoj proizvodnji, postoji niz mogućnosti da nove digitalne i komunikacione tehnologije revolucionarno transformišu i načine upravljanja vodama. U bogatom, razvijenom i inventivnom svijetu, to je već u razvoju i djelimičnoj primjeni, na primjer u hidroenergetici, vodosnabdijevanju stanovništva i industrije, navodnjavanju, desalinizaciji i tretmanu otpadnih voda. Kao već zreli primjeri, navode se bazen rijeke Kolorado, Los Angeles i drugi u Americi, zatim Queensland u Australiji, Singapore, više gradova u Engleskoj, itd. Za Las Vegas se na primjer navodi: „Voda je posljednja stvar koju bi prokockali“!

Korištenje tekovina Industrije 4.0 posebno može biti izazovna, potencijalno veoma korisna, suštinski dobitna kombinacija u zemljama u tranziciji. Vodna infrastruktura na mnogim mjestima u tim zemljama ne postoji, ili je izrazito zastarjela, npr. iz komunističkih ili kolonijalnih vremena, a zahtjevi za lokalni ekonomski razvoj često zavise od mogućnosti dobrog upravljanja vodama. Pošto tu brzih rješenja za fizičku infrastrukturu nema, a

različiti pritisci i rizici od klimatskih promjena se nastavlja i samo povećavaju, prihvatanje digitalne revolucije može biti kritično za osiguravanje adekvatnog upravljanja vodama. Podaci iz prirode i specifičnih prirodnih i vještačkih vodnih sistema su ključni za donošenje pametnih, dugoročno održivih odluka.

Prihvatanje Industrije 4.0 u sektoru voda

Šta četvrta industrijska revolucija znači za upravljanje vodama? Svijet se muči sa brzom i bolnom tranzicijom s vjerovanja da je vodno bogatstvo neiscrpno i jeftino, ili, u najboljem slučaju, da nije skupo, suočavajući se sa sve češćim i većim nestašicama voda, njenim sve lošijim kvalitetom, te povećanim varijabilnošću hidroloških događaja zbog klimatskih promjena. Već se dešava previše vodnih kriza u cijelom svijetu. Znači, vrijeme je za inovativno poglavlje u sektoru voda!

Sve je veći pritisak za nove javne politike i strategije biznisa, kao i tehnološke inovacije, finansiranje i napredovanje partnerstva u XXI vijeku. Ovakav razvoj moguć je samo s boljim kvalitetom i dostupnijim podacima, te kreiranjem potpuno pouzdanih i korisnijih informacija. To je uloga koju tehnološki napredak može odigrati u podršci liderima svih okolišnih sektora, naročito voda. Digitalne tehnologije, kao što su povezani senzori i uređaji (Internet stvari), analitika predviđanja i vještačka inteligencija, u nastajanju su kao moćno sredstvo za dostizanje održivog, prilagodljivog i pravednog pristupa upravljanju vodama. Naravno, tehnologije četvrte industrijske revolucije same neće riješiti probleme i izazove sektora voda. One mogu biti samo podrška i pomoć donosiocima odluka, od sektorskih vlasti do svih ostalih. Samo potpuno i objektivno informisani učesnici iz razno-raznih grupacija, kao što je opća i stručna javnost, demokratski i posebno okolišni nevladin sektor, zatim po-

duzetnici i investitori, uključujući bankarski sektor, mogu s organima vlasti donositi zaista pametne odluke.

Razmjera rasta komunikacionih i drugih naprednih tehnologija i uređaja je daleko veća i brža od rasta svjetske populacije. Danas je u svijetu već preko 25 milijardi povezanih komunikacijskih sprava, u odnosu na populaciju od blizu 8 milijardi.

Pametne vodne tehnologije su u početnom stadiju razvoja. Kroz interdisciplinarni pristup i rad, može se očekivati da se upravljanje vodama pokrene u pametniju budućnost. Pametni vodni sistemi traže mnogo digitalnih sprava – senzora i pobuđivača (aktuatora) postavljenih u i oko vode, da omoguće monitoring i upravljanje u gotovo realnom vremenu. Automatizacija, uz međusobnu povezanost komponenti je osnova dostizanja upravljanja vodama u realnom vremenu. Bitno povećavanje kvaliteta planiranja, mjera i operacija moguće je kvantitativno-kvalitativnim monitoringom voda u realnom vremenu u cijelom sistemu. Modernizacija i remodeliranje postojećih fizičkih hidrauličkih sistema uz moderne senzore, kontrolore i druge pametne komponente, te samih upravljačkih centara, omogućava brzo i pametno donošenje odluka, potencijalno vrlo troškovno efikasnih i profitabilnih u održivom pristupu suočavanja s raznim vodnim izazovima. Razvoj pametnih hidrauličkih mreža usmjerit će i razvoj inovativnih tehnologija iz okvira Industrije 4.0, kojim se kreira zaista inteligentno upravljanje vodnim resursima. Pametni sistemi, koristeći savremene komunikacione tehnologije i analizu podataka u realnom vremenu dovode do predvidljivih i prilagodljivih odluka. Za upravljanje okolišem, pametni sistemi eliminiraju potrebu da tehničari često posjećuju teren i očitavaju mjerne uređaje ili frekventno uzimaju uzorke za kasniju analizu, vršeći samo monitoring okoliša, nego omogućavaju i direktnu interakciju s promjenama

karakteristika okoliša u realnom vremenu. Hidroinženjeri imaju kolosalnu priliku, kao i odgovornost, da prihvate nove revolucionarne tehnologije Industrije 4.0, te skupa s ostalim kreiraju odgovarajuću infrastrukturu, upravljačke mehanizme i finansiranje, da se ne samo pripremaju za buduće izazove, nego da naprave sve što je potrebno i moguće već danas. Uobičajeno poslovanje („Business-as-usual“) kao pristup već ne može, a niti će pogotovo biti u stanju odgovoriti rizicima koji se pojavljuju u svim segmentima upravljanja vodama (obezbjeđenje potreba za vodom, zaštita kvaliteta voda i zaštita od štetnog djelovanja voda). Tehnička unaprjeđenja i nove mogućnosti za sektor voda, koji proističu iz četvrte industrijske revolucije, mogu fundamentalno prelomiti „status quo“ i otvoriti potpuno nove puteve za rješavanje svih globalnih vodnih izazova. Balansiranje na ovom novom svjetskom tržištu traži potpuno razumijevanje kvaliteta voda, koliko vode se može održivo koristiti, kao i preciznu sliku postojećih i budućih zahtjeva za vodom, kako od ljudi direktno, tako i za ekonomska korištenja u poljoprivredi, industriji i proizvodnji energije. Dostupnost podataka i informacija omogućava liderima na svim nivoima zajednice da uporede prioritete, procijene potencijalna rješenja i donesu informirane odluke koje će uravnotežiti ekonomske, društvene i okolišne interese.



Slika 4. Iguasu vodopadi, Argentina/Brazil

Po cijelom svijetu, senzori se raspoređuju u i oko vodnih tijela, da bi prikupljali pripadajuće

kvantitativno-kvalitativne podatke. Ove informacije se prenose savremenim komunikacionim sredstvima do platformi prilagođenih širokoj javnosti, profesionalcima i donosiocima odluka, da bi detektovali i upravljali rješavanjem raznih pitanja. Pametni vodni sistemi integrišu sve ove senzore, mjerače, kontrolore, analitike i obrade, da bi polu-automatski, pa i automatski upravljali vodnim sistemima; u pametnim gradovima, na primjer, zajedno sa drugim komunalnim sistemima. Oni osiguravaju da se voda distribuira korisnicima prema njihovim potrebama, garantirajući pri tome standarde kvaliteta. Maksimiziraju efikasnost i za postojeće fizičke sisteme minimiziraju uticaje njihove postojeće nefleksibilnosti i neefikasnosti, dok se ne pristupi rekonstrukciji i modernizaciji.

Održavanje pametnih vodnih sistema trebalo bi biti relativno mnogo jednostavnije od održavanja konvencionalnih upravljačkih sistema. Pošto senzori skupljaju podatke u realnom vremenu, mogu otkriti sve nedostatke i kvarove čim se dese, tako da se mjere za njihovu sanaciju mogu poduzeti odmah. Šta više, automatski vodni upravljački sistemi mogu trenutno opaziti bilo kakvu nesreću, te odmah upozoriti odgovarajuće osoblje, da bi ono po proceduri poduzelo odgovarajuće mjere, kao što je to na primjer već slučaj u avionskom saobraćaju. Dakle, pametni vodni sistemi funkcionišu maksimalno djelotvorno, sa minimumom prekida.

Kao što je već pomenuto, pametni vodni sistemi su već u funkciji u nekim razvijenim i bogatim zemljama, a postoje i inicijative i prvi koraci za analogan razvoj i u nekim zemljama u razvoju, na primjer Kini, Indiji i drugim. Neće mnogo vremena proći, pa da se u svim dinamičnijim zemljama počnu prihvatati pametni vodni sistemi. Mnoge vlade već podstiču ili investiraju u razvoj pametnih gradova, plavo – zelena rješenja i druge opcije za promjene cijelog gradskog uslužnog sistema u pametni.

Posljedice prisutnih klimatskih promjena, kao i mnoge druge stalno nove krize u svijetu, samo ubrzavaju ovakav razvoj, jer potkopavaju socijalnu stabilnost.

Izgradnja otpornosti na suše, poplave i druge ekstremne vremenske događaje povezane s klimatskim promjenama postaje sve značajnija za ekonomije u razvoju. U posljednjoj dekadi, svjetska pažnja se okrenula prema adaptaciji na promjene klime, dodatno na njihovo ublažavanje. Generalna skupština Ujedinjenih nacija i Samit za klimatske akcije od prošle godine, uz posljedice klimatskih promjena, naglasili su i zabrinutost za kolaps biodiverziteta, pozivajući na investiranje u rješenja kružne (cirkularne) ekonomije, da bi se oba trenda preokrenula. Svaka mjera koja se tiče klimatskih promjena, na prvom mjestu prirodno treba da zadovoljava interese ljudi. Mada se ovakav pristup često kritikuje kao antropocentričan, fokus ljudskih prava je zaštita ličnosti, tako da je i sve što se izvodi iz globalnih Ciljeva održivog razvoja UN-a takođe antropocentrično.

Rješenja koja omogućava četvrta industrijska revolucija imaju potencijal da inovativno i bitno transformišu sektor voda. Iako ova rješenja ne daju sama po sebi jednostavna niti kompletna rješenja za vodne izazove, ona dubinski unaprijeđuju raspoložive alate za lidere, vlasti, biznis i širu zajednicu da razumije, koristi i uopće upravlja vodnim resursima.

Tehnologije četvrte industrijske revolucije će takođe unaprijediti prihvatanje samostalnih i lokalizovanih rješenja, na primjer za vodo-snabdijevanje ili tretman otpadnih voda, te hibridna decentralizovano-centralizovana rješenja, u odnosu na tradicionalna mrežna rješenja. Taj pomak prema decentralizaciji infrastrukture nije nov. Drugi sektori, kao energetika i telekomunikacije ovu tranziciju prave sasvim uspješno. Za sektor voda, to je

moćnost i obaveza da se na primjer veoma velikom procentu stanovništva koje nije priključeno na centralne mreže vodovoda ili kanalizacije, pruže adekvatne usluge.

Tehnologije Industrije 4.0 u nastajanju – mašinsko učenje, vještačka inteligencija, napredni senzori, satelitska snimanja, robotika i drugo, s podacima i razumijevanjem koje ranije nije bilo moguće imati, dovode do revolucionarnih proboja za rješavanje zajedničkih okolišnih i posebno vodnih izazova. Skok u prikupljanju podataka i analitici, procjeni performansi, elastičnosti sistema monitoringa, predviđanju havarija i omogućavanje bolje zaštite slivnog područja, uz kontinuirane inovacije za bolje razumijevanje i unutrašnju analizu, omogućava „on-line“, tekuće i direktno upravljanje.

Iako je prihvatanje novih tehnologija veoma obećavajuće za transformisanje sektora voda, u tome sigurno postoje neki izazovi i rizici.

Izazovi i rizici prihvatanja Industrije 4.0 u sektoru voda

Najznačajniji i sveprisutni izazov je nedostatak konzistentnih, aktuelnih i pouzdanih podataka o vodnim sistemima, kojima bi se identificirala ključna mjesta i od početka usmjerile najefektivnije akcije. Jasno je da pouzdani sistemi kvantitativno-kvalitativnog monitoringa visoke rezolucije imaju potencijalno ogroman uticaj na razvoj sektora upravljanja vodama u cijelom svijetu. Tržište voda, i javnog sektora i privatnih sudionika, mora se fokusirati na sveobuhvatna i kompletna rješenja, a ne samo na individualne komponente. Implementacija UN Ciljeva održivog razvoja na nacionalnom i supranacionalnom nivou je perfektna šansa.

Zamah četvrte industrijske revolucije u sektorima zdravstva, mobilnosti i energije

nesumnjivo će transformisati i program rada u sektoru voda. Primjeri iz drugih sektora su snažan podsticaj kome se tradicionalistički sektor voda neće moći oduprijeti. Inovatori i agresivni poduzetnici su već tu, jer su tehnologije, izazovi, mogućnosti, šanse i rizici svugdje slični, tako da je revolucionarni prodor i u sektor voda u najširem smislu neminovan. Kako će se to desiti, zavisi od istraživača i akademskog osoblja, praktičara i donosioca odluka, koji čine vodnu zajednicu, lokalno i šire. Sve zavisi od njihove sposobnosti da se pripremi, usvoji, prilagodi i bude dio dolazećih promjena. Ko ne bude, zaostaće, ispašće. Vlasti i institucije sistema moraju mnogo učiniti na osposobljavanju i opremanju, te aktivnom oblikovanju korištenja novih mogućnosti, ne kao pasivnih primalaca, nego aktivnih sudionika.

Generalno, sektor upravljanja vodama je veoma inertan, konzervativan da prihvati nove tehnologije i nove rizike, jer je to veoma stara i zaista odgovorna djelatnost. Kod već postojećih, niko ne želi nove rizike, stvarne ili pretpostavljene. S druge strane, tu su i razdvojenost političkih, administrativnih i upravljačkih odjeljenja i vlasništva nad grupama podataka, te nedostatak znanja zaposlenika o digitalnim rješenjima. Vodovodima je, na primjer, povjerenost da osiguravaju sigurnu isporuku pitke vode, pa se, kao rezultat, izrazito favorizuju višestruko provjerene tehnologije, u odnosu na one koje se tek pojavljuju.

Drugi veliki izazov povezan je s treniranjem zaposlenika. Okolišna i posebno vodna administracija generalno nije sklona rješenjima digitalnih tehnologija. Transformacija javne uprave je neophodna, da bi se povećala prihvatljivost tehnologija Industrije 4.0. Integracija domišljatosti primjene u mnogim sistemima, uključujući kritičnu okolišnu infrastrukturu, mnogo je brža od mogućnosti onih koji razvijaju tehnologije, da ih u potpunosti prilagode za odgovaranje na prirodne kata-

strofe, kao što su npr. su zemljotresi, poplave i suše, ili namjerna ugrožavanja, npr. terorizam i hakerski napadi.

Zbog urođenih suprotnosti, nema sistema koji je potpuno otporan i pametan. Za vodne sisteme, neophodno je u stvari smanjiti preveliku ambicioznost i suziti sveobuhvatnost ciljeva, kako bi primjena pametnih rješenja zaista bila efektivna.

Zaključci

Voda je najvažniji resurs za život ljudi, isprepletano u svim društvenim, okolišnim i ekonomskim aktivnostima. Omogućava ili ograničava bilo kakav razvoj, neophodna je za blagostanje, ali može biti uzrok i krajnje bijede.

UN, EU i druge internacionalne organizacije danas se fokusiraju na zaštitu vodnih resursa. Međutim, razvijene zemlje su između ostalog postale razvijene ekonomičnim korištenjem svojih voda. Možda to u prošlosti nije uvijek bilo dugoročno održivo, ali one sada mogu investirati u neophodne adaptacije i neke restauracije. Siromašne zemlje, čak i u Evropi, siromašne su, između ostalog, jer nisu organizovane i nemaju mudru politiku za pametno i održivo korištenje svojih prirodnih i obnovljivih resursa.

Razvoj gradova i rast populacije uvijek je povezan s raspoloživošću vode, pa su tu dominantne promjene okoliša, način korištenja zemljišta i uplitanje u hidrološki ciklus, uz uticaje klimatskih promjena.

Sedamnaest UN ciljeva održivog razvoja usmjereno je na re-evaluaciju svih vrijednosti; sve se mora promijeniti, jer se mijenja klima. Neki od uticaja na vode su očigleni, kao sve češće i sve intenzivnije oluje, poplave i suše. Ali, opšti uticaj je još mnogo dublji. Sigurnost u proizvodnji i dobavi hrane, ljudsko zdravlje,

udobnost urbanog i ruralnog življenja, energetska kriza i industrijski razvoj, ekonomski rast i zaštita vitalnih ekosistema, sve su to aspekti zavisni od voda i ranjivi na njihove promjene režima usljed klimatskih promjena.

Izgleda da inženjeri, posebno građevinski i specifično hidroinženjeri, moraju početi ponovo, ako nerazvijeni treba da dostignu proklamovane ciljeve održivog ravoja. Čista voda i sanitacija, uz pristupačnu i održivu energiju, svakome su neophodni.

Uključivanje sektora voda u industrijsku revoluciju 4.0 je šansa za nerazvijene. Ključ je u pametnom korištenju voda, tako da ekonomija, svi društveni sektori i prirodni okoliš, uključujući usluge ekosistema, imaju korist. Voda je, uz ostalo, prije svega ekonomska kategorija.

LITERATURA

Navedena u originalnom radu.

Procjena tereta zagađenja vodnih resursa koji potiču sa deponija na vodnom području rijeke Save u Federaciji BiH

/

Estimation of loads of pollution of water resources originating from landfills in the water area of the Sava river in the Federation of B&H

Dr.sc.Anisa Čičić-Močić, dipl.biolog

Agencija za vodno područje rijeke Save
Hamdije Čemerlića 39a, Sarajevo
anisa@voda.ba

Nusmir Pašić, dipl.ing.građ.

Agencija za vodno područje rijeke Save
Hamdije Čemerlića 39a, Sarajevo
nusmir.pasic@voda.ba

Shodno mjeri 69. Plana upravljanja vodama za vodno područje rijeke Save u Federaciji BiH (2016–2021), Agencija za vodno područje rijeke Save Sarajevo je finansirala izradu Studije procjene tereta zagađenja vodnih resursa koji potiču sa deponija na vodnom području rijeke Save u Federaciji BiH. U okviru ove Studije na području općina/gradova koji pripadaju vodnom području rijeke Save identifikovane su, pozicionirane i snimljene lokalne neuređene i divlje deponije, te utvrđen sastav i teret zagađenja procjednih voda koje nastaju procijeđivanjem kroz tijelo deponije. Studijom su propisane mjere za sanaciju neuređenih i divljih deponije, prioriteta i rokovi, kao i procjena finansijskih sredstva za njihovu sanaciju.

Ključne riječi

Plan upravljanja vodama, lokalne neuređene i divlje deponije, sastav i teret zagađenja procjednih voda, sanacija

According to measure 69 of the River Basin Management Plan for the Sava River Basin in the Federation of BiH (2016–2021), the Sava River Watershed Agency Sarajevo funded the Study on the assessment of pollution of water resources originating from landfills in the Sava River Basin in the Federation of BiH. Within this Study in the area of municipalities / cities located in the Sava River Basin, local unregulated and illegal landfills were identified, positioned and recorded, including all data on them recorded directly on site, and the composition and load of pollution through the body of the landfill. The study prescribes measures for the remediation of unregulated and illegal landfills, priorities and deadlines, as well as the assessment of financial resources for remediation.

Key words

Water Management Plan, local unregulated and illegal landfills, load of pollution, remediation

Planom upravljanja vodama za vodno područje rijeke Save u Federaciji BiH (2016.-2021.) (u daljem tekstu: Plan upravljanja 2016.-2021.), iz razloga nedostatka i/ili nezadovoljavajućeg kvaliteta ulaznih podataka, pitanje neregulisanog odlaganja krutog i rudarskog otpada, je prepoznato kao "potencijalno značajno pitanje« upravljanja vodama. Da bi se adekvatno ocijenilo da li problem zagađenja koje potiče sa deponija treba tretirati kao »značajno pitanje« upravljanja vodama, potrebno je bilo da se tokom drugog planskog ciklusa provedu dodatna istraživanja (npr. provođenje terenskih istraživanja, izrada specifičnih istraživačkih studija i/ili prikupljanje dodatnih podataka).

Osim toga, problem upravljanja otpadom prepoznala je i »Strategija upravljanja vodama Federacije Bosne i Hercegovine 2010.-2022.«, kojom je definisan strateški cilj »Smanjenje količine zagađenja koje dopijeva u površinske i podzemne vode sa uređenih i divljih deponija krutog otpada«, te su ovim dokumentom predviđene i mjere u cilju smanjenja zagađenja vodnih resursa koje potiče sa deponija.

Činjenica je da deponije krutog otpada putem procjednih voda iz tijela deponije zagađuju površinske i podzemne vode, a količina i kvalitet filtrata sa deponija ovisi o mnogo faktora, od kojih su najznačajniji vrsta otpada, starost deponije, klimatski uvjeti i način upravljanja deponijom. Ključni problemi potiču, između ostalog, iz dosadašnjeg odnosa društvene zajednice naspram otpada i načina upravljanja, pomanjkanja vertikalne i horizontalne upravljačke i strukovne usklađenosti/ organiziranosti, kao i pomanjkanja odgovarajućih pravnih propisa i ekonomskih mjera.

S obzirom na ukazanu potrebu za dodatnim istraživanjima, a shodno mjeri 69. Plana upravljanja (2016.-2021.), Agencija za vodno područje rijeke Save Sarajevo (u daljem tekstu: AVP Sava) je pokrenula postupak izrade Studije procjene tereta zagađenja vodnih resursa koji potiču sa deponija na vodnom području rijeke Save u Federaciji BiH (u daljem tekstu: Studija), čiji su ključni rezultati predmet ovog dokumenta.

1. Metodologija identifikacije divljih deponija

AVP Sava je prilikom pripreme za izradu projektnog zadatka za izradu Studije procjene tereta zagađenja poslala upit svim općinama/gradovima i kantonalnim ministarstvima nadležnim za vodoprivredu na vodnom području rijeke Save u Federaciji BiH, sa molbom za dostavu ključnih informacija o sanitarnim i divljim deponijama na njihovoj teritoriji. Tražene su informacije o lokaciji i površini deponije, količini i vrsti otpada, upravitelju deponije, starosti i najbližem recipijentu. Na ovaj način prikupljeni su podaci iz 50 općina/gradova, od čega je 6 općina/gradova u svojim dopisima konstatovalo da na njihovom području nema evidentiranih divljih i neuređenih deponija, te je snimanje lokacija deponija na terenu izvršeno u ukupno 44 općine/grada (od ukupno 64 općine/grada na vodnom području rijeke Save u Federaciji BiH).

Identifikacija divljih deponija na teritoriji Federacije BiH vršena je pomoću GPS tehnologije, odnosno bilježenjem objekata od interesa u prostoru, sa ciljem dobijanja baze podataka. Pored samog utvrđivanja lokacije divlje deponije, prilikom identifikovanja vršeno je i bilježenje dodatnih atributa kao što su: naziv općine, naselja/ naseljenog mjesta, zaštićeno područje i sl. Na lokaciji svake snimljene deponije načinjena je foto dokumentacija. Prilikom posjete lokacijama divljih i neuređenih deponija, terenske ekipe su popunjavale i upitnik/ terenski protokol u kojem su sadržane neophodne informacije o svakoj pojedinačnoj deponiji.

Nakon prikupljanja trenskih informacija, formirana je baza podataka deponija po općinama i za svaku deponiju pojedinačno je definisano optimalno rješenje za sanaciju (izmještanje, djelimična sanacija ili potpuna sanacija), nakon čega je izvršena procjena finansijskih sredstva neophodnih za predviđene aktivnosti.

2. Prikupljanje podloga i podataka

Obilazak terena je organizovan prema ranije dostavljenim podacima, te prema dinamici dostavljanja podataka o lokacijama divljih i neuređenih deponija od preostalih općina/gradova na vodnom području rijeke Save u Federaciji BiH. Prije dolaska na područje općine/grada na kojoj je planirano snimanje lokacija divljih i neuređenih deponija, kontaktirana su ovlaštena lica u općinama/gradovima, uz čije se prisustvo vršio obilazak terena, lociranje divljih deponija i prikupljanje drugih podataka.

Postupak identifikacije divljih i neuređenih deponija sastojao se od sljedećih aktivnosti i radnji:

1. Obilazak deponije GPS uređajem, gdje se osoba koja vrši identifikaciju kretala po samom obodu deponije pri čemu je vršila snimanje tačaka u prostoru.
2. Za određivanje kontura deponija korištena je opcija snimanja tačaka u prostoru kojom je zatvorena kontura deponije, te nakon povezivanja ovih tačaka linijama, dobijen zatvoreni poligon preko kojeg se vidi oblik i površina deponije.
3. Na lokaciji svake deponije je pravljene foto zapis deponije i njene okoline.

Istovremeno se vršilo prikupljanje i definisanje podataka kao što su:

1. Naziv općine/grada na čijoj teritoriji se deponija nalazi
2. Naziv naselja ili naseljenog mjesta koje je u blizini deponije
3. Naziv lokacije deponije
4. Opis deponije (divlja, lokalna, uređena/neuređena, postojanje)

obodnog kanala, postojanje sistema za sakupljanje procjednih voda)

5. Prosječna dubina otpada na deponiji
6. Koeficijent pokrivenosti otpadom
7. Identifikacija nagiba terena na lokaciji (ravan teren/strm teren)
8. Sastav tla na kojem se nalazi deponija (podatak od komunalnog preduzeća)
9. Prilazni put (kategoriju i prohodnost)
10. Blizina riječnog toka ili izvora uključujući i zone sanitarne zaštite
11. Vrsta čvrstog otpada koji se nalazi na deponiji (mješoviti komunalni otpad, industrijski otpad, građevinski otpad, rudarski otpad, otpad iz poljoprivrede i sl.)
12. Mogućnost čišćenja lokacije
13. Opis lokacije na kojoj se nalazi deponija (šuma, livada, udaljenost stambenih kuća i sl.)
14. Stepenn opasnosti - mali/srednji/visok (od plavljenja, od prodora podzemnih voda, požara, od degradacije životne sredine i opasnost za zdravlje ljudi.)
15. Vrijeme u upotrebi
16. GPS tačke

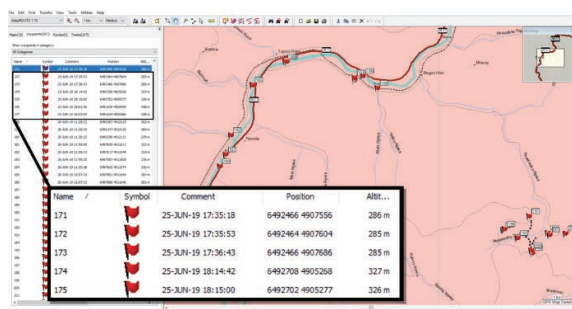
Svi ovi podaci su na licu mjesta unijeti u formular koji je ispunjavan za svaku deponiju posebno (slika 1.).

DEPONIJA	PODACI SA TERENA
1. Naziv općine na kojoj se nalazi deponija	ČLOVO
2. Naziv naseља ili mase њenog mјesta koje je u blizini deponije	ČARČEVA ČUPRIJA
3. Naziv lokacije deponije	ČARČEVA ČUPRIJA
4. Opis deponije (divlja, okana, uređena/uređena, postojanje obodnog kanala, postojanje sistema za sakupljanje procjednih voda).	DIVLJA, NEUREĐENA
5. Prosječna dubina otpada na deponiji	1,5 m
6. Koeficijent pokrivenosti otpadom	70%
7. Identifikacija nagiba terena na lokaciji (ravan teren/strm teren)	STRM TEREN
8. Sastav tla na kojem se nalazi deponija (podatak od komunalnog preduzeća)	HUMUS, STIJENJA
9. Prilazni put (kategoriju i prohodnost)	ASFALT (REGIONALNI PUT)
10. Blizina riječnog toka ili izvora uključujući i zone sanitarne zaštite	RUČEVA KOLUŠA 20m
11. Vrsta čvrstog otpada koji se nalazi na deponiji (mješoviti komunalni otpad, industrijski otpad, građevinski otpad, rudarski otpad, otpad iz poljoprivrede i sl.)	MJEŠOVITI KOM. OTPAD
12. Mogućnost čišćenja lokacije	MOGUĆE MAŠINAMA
13. Opis lokacije na kojoj se nalazi deponija (šuma, livada, udaljenost stambenih kuća i sl.)	UASIP PUTA
14. Stepenn opasnosti - mali/srednji/visok (od plavljenja, od prodora podzemnih voda, požara, od degradacije životne sredine i opasnost za zdravlje ljudi.)	SREDNJI (ZAKADREŽE VODE)
15. Vrijeme u upotrebi	DUGOTRAJNA PRAVO ZEMLJE
16. GPS tačke	617-643

Slika 1. Izgled formulara

3. Kancelarijska obrada podataka

Svi tačkasti podaci prikupljeni na terenu su pomoću GPS uređaja preuzeti u softveru MAP SOURCE, zatim konvertovovani i obrađeni u ArcGIS preko X i Y koordinate.

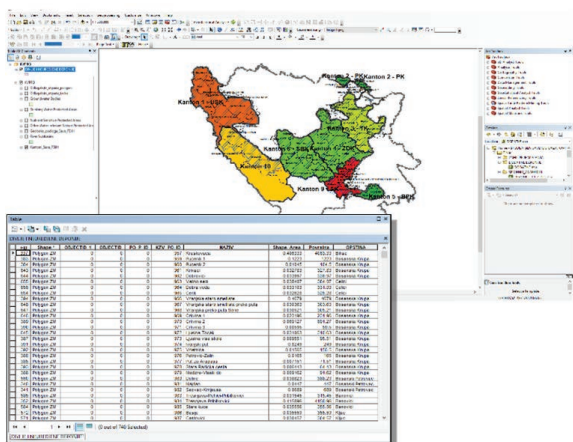


Slika 2. Preuzimanje GPS tačkica snimljenih na lokacijama deponija u Map Source okruženju

Nakon georeferenciranja snimljenih tačkica u prostoru odnosno definisanja skupa tačkica u fizičkom prostoru izvršeno je spajanje tačkica i zatvaranje poligona koji predstavljaju snimljene deponije.

Nakon prikupljanja i kancelarijske obrade podataka, isti su uneseni u Informacioni

sistem voda »Agencije za vodno područje rijeke Save« Sarajevo (ISV portal).



Slika 3. Kancelarijska obrada podataka – radno GIS okruženje, prikaz po Kantonima

3.1. Utvrđivanje prioriteta za sanaciju identificiranih deponija

Jedan od osnovnih ciljeva ovog projekta je definisanje prijedloga plana rješavanja problema evidentiranih deponija čije postojanje uzrokuje zagađenje vodnih resursa u slivu rijeke Save, na osnovu prethodno provedenih analiza te predlaganje akcionog plana rješavanja problema zagađenja. Stoga su definisani parametri za utvrđivanje prioriteta za sanaciju deponija i to po kriterijumu gdje će se kao najurgentnije za sanaciju navesti one deponije koje najviše ugrožavaju vode od kojih zavisi zdravlje ljudi.

Stepen prioriteta	Kriterijum
Visoko prioriteta	Nalazi se unutar zone sanitarne zaštite
Prioriteta	Nalazi se na dobro vodopropusnim stijenama i blizu vodotoka
Srednje prioriteta	Nalazi se na umjereno vodopropusnim stijenama
Ostalo	Ostalo izvan prethodno utvrđenih kategorija

Tabela 1. Kriterijumi za utvrđivanje prioriteta sanacije divljih i neuređenih deponija

Deponije su se, po prioritetu za sanaciju, grupisale u 4 grupe: visoko prioriteta, priori-

tetna, srednja prioriteta i ostalo, a na osnovu lokacije deponije u zonama sanitarne zaštite, blizine vodotoka, hidrogeološke podloge itd.

4. Procjena tereta zagađenja

Procjena tereta zagađenja je određena na osnovu proračuna količine procjednih voda koje nastaju sa identifikovanih deponija i očekivanog sastava procjednih voda, odnosno opterećenja procjednih voda.

Procjedne vode sa deponija nastaju procijeđivanjem oborinskih voda kroz tijelo deponije prilikom čega dolazi do ekstrakcije rastvorljivih, koloidnih i suspendovanih materija. Drugim riječima, procjedna voda iz deponije je zagađena tečnost, koja se procjedila kroz slojeve odloženog otpada i pri tome primila u sebe velike količine zagađujućih supstanci uključujući i proizvode hemijskih i biohemijskih reakcija koje se odvijaju u tijelu deponije. Procjedne vode se sastoje od tečnosti, koje u tijelo deponije ulaze izvana, odnosno od padavina, infiltrirane podzemne vode, kao i vode sadržane u samom otpadu.

Ukupna količina procjednih voda sa deponije se sastoji od količine vanjskih voda koje su ušle u tijelo deponije i količine unutrašnjih voda u deponiji. Vanjske vode koje mogu doći na deponiju su:

- ▶ oborinske vode sa slivnog područja;
- ▶ površinske slivne vode;
- ▶ padavine (snijeg, kiša i dr); i
- ▶ podzemne vode.

Dio vode takođe ulazi u tijelo deponije direktno sa otpadom (unutrašnje vode), putem vlažnosti otpada koji se deponuje. Kod neobrađenog komunalnog otpada vlažnost se kreće između 20 i 60% (mas.). Međutim, u pravilu, vlažnost neobrađenog komunalnog otpada je ispod tačke zasićenja (saturacije), tako da deponovani otpad u prosjeku može prihvatiti oko 12% (vol.) dodatne vlage.

Osnovni izvor procjednih voda sa deponija predstavljaju padavine koje dolaze na površinu deponije i procijedeju se kroz tijelo deponije. Dio ove vode otiče kao oborinska voda sa deponije, dio se vraća u atmosferu isparavanjem sa gornje površine deponije ili vegetacije (evapotranspiracija), dok ostatak predstavljaju procjedne vode koje nastaju nakon što otpad dostigne potpuno zasićenje vlagom.

Klima značajno utiče na brzinu stvaranja procjednih voda i to tako što je količina ovih voda mnogo veća u zoni visokih padavina od onih u zoni sa malim padavinama. Topografija tla utiče na smjer kretanja bujice kao i na količinu vode koja ulazi u zonu deponije i onu koja izlazi iz nje.

Propustljivost međuslojeva zemlje koji se nalaze u deponiji uticati će na brzinu kretanja vode na niže. Količina procjednih voda se smanjuje pri povećanom površinskom oticanju vode, intenzivnijim isparavanjem vode sa površine deponije i smanjenjem vlage u prekrivnim slojevima zemlje.

Sa obzirom da je vršena identifikacija neuređenih deponija sa različitim količinama otpada, vrstom otpada, periodom odlaganja, sastavom i nagibom terena i sl., na kojima se ne provodi nikakav monitoring, proračun količine procjednih voda je izvršen u skladu sa sljedećom formulom (Ljubisavljević i sar., 2001):

$$Q_f = \frac{k \times P}{30}$$

gdje je:

- ▶ **Q_f** - dnevna količina filtrata (procjednih voda), m³/dan;
- ▶ **K** - koeficijent infiltracije = 0,7 (kod deponija na ravnom terenu) i 0,5 (kod deponija na strmom terenu);

- ▶ **P** - ukupna mjesečna količina atmosferskih padavina na datu površinu deponije, m³.

Koeficijent infiltracije je visok radi nepostojanja podataka o evapotranspiraciji, površinskom oticanju, količini vlage koja se nalazi u otpadu, jasnog sastava otpada i predstavlja određenu sigurnost u proračunu.

Sastav procjednih voda varira tokom eksploatacije deponije. Promjene najviše zavise od starosti deponije, vrste i debljine sloja odloženog otpada, oblika i načina rada deponije, te interakcije procjednih voda sa okolinom. Najvažniji faktori koji utiču na varijacije u sastavu procjednih voda su:

- ▶ sastav otpada i njegova varijabilnost, koji određuju brzinu razgradnje. Organski otpad iz domaćinstva i životinjskog otpada će pridonijeti povećanju organskih zagađujućih materija, dok se neorganski zagađivači javljaju u procjednim vodama iz industrijskih i građevinskih otpada;
- ▶ temperatura u tijelu deponije osciluje prema sezoni i utiče na rast mikroorganizama i stopu hemijskih reakcija. Svaki organizam ima svoju optimalnu radnu temperaturu. Rastvorljivost većine soli raste sa povećanjem temperature;
- ▶ debljina deponovanog sloja otpada: debeli slojevi otpada trebaju više vode do zasićenja, pa proces raspadanja traje duže. Voda je zbog dužeg puta kroz otpad, duže u kontaktu sa njim, a kao rezultat javlja se veća koncentracija zagađujućih materija u procjednim vodama.

Na sastav procjedne vode posebno bitno utiče starost deponije. Sa starenjem deponije koncentracija organskih materija više opada

nego koncentracije neorganskih, jer se one razgrađuju i ispiraju, dok se neorganske materije samo ispiraju. Vlaga značajno utiče na stepen razgradnje otpada, s obzirom da pomaže pri razmjeni supstrata, hranjivih materija, razblaživanju inhibitora i rastu mikroorganizama. Najveći uticaj na sadržaj vlage u deponiji ima način izgradnje deponija, način deponovanja otpada i klima.

Procjedne vode sa deponija komunalnog otpada uglavnom sadrže sljedeće primjese (Ehrig i Robinson, 2011):

- ▶ jedinjenja azota: u organski vezanom obliku i u obliku amonijaka: predstavlja najveći procenat rastvorljivog azota u procjednim deponijskim vodama i nastaju pri biorazgradnji prisutnih organskih materija. Azot u nitratnom obliku se troši u anaerobnim uslovima i zato je prisutan u niskim koncentracijama. Nitratni joni su vrlo mobilni;
- ▶ jedinjenja fosfora: uključena su u mnoge fizičke, hemijske i mikrobiološke transformacije. Specije fosfora se najčešće koriste u mikrobiološkim procesima, kompleksiranju i rastvaranju. Rastvorljivost im zavisi od pH – vrijednosti i u procjednim vodama su prisutni u malim koncentracijama;
- ▶ teški metali: u većini filtrata iz komunalnih deponija se javljaju određene koncentracije sljedećih teških metala: Al, As, Cu, Ba, Fe, Zn, Cd, Co, Ag, Pb i Hg;
- ▶ katjoni: najčešći kationi koji se javljaju u procjednim vodama su: Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺. Reagaju jedni sa drugima i sa katjonima u kompleksima iz otpada, stvarajući komplekse;
- ▶ anjoni: Cl⁻, SO₄²⁻, S²⁻ i HCO₃⁻ se samo djelimično transformišu. Sulfat se desorbuje radi povećanja pH, a nakon desorpcije se taloži. Sulfidi i karbonati se vežu za metale ili gasove poput SO₂ i CO₂;
- ▶ organska zagađenja: izražena preko nespecifičnih parametara BPK5, HPK i TOC;
- ▶ hlorisani ugljovodonici i pesticidi;
- ▶ specifični organski spojevi: aromatski ugljovodonici, fenoli, hlorisani alifatski spojevi, koji se nalaze obično u tragovima.

Generalno, iz dosadašnjeg pregleda kvalitativnih osobina deponijskog filtrata, može se zaključiti da filtrat karakterišu sljedeća svojstva (Knežević, 2015):

- ▶ boja tamno smeđa do crna;
- ▶ neprijatan miris;
- ▶ pH kod mladih deponija kiseo, a kod starih bazičan (pH = 5,3 – 9,1);
- ▶ BPK5 i HPK veoma visoki kod faze kiselog vrenja, a kod metanskog vrenja značajno niži;
- ▶ sadržaj teških metala u fazi kiselog vrenja relativno visok, a tokom metanskog vrenja gotovo zanemarljiv;
- ▶ sadržaj hlorida u fazi kiselog vrenja relativno visok;
- ▶ visok sadržaj amonijaka;
- ▶ veoma mali sadržaj fosfora.

Da bi se što vjerodostojnije procjenio očekivani sastav procjednih voda sa divljih i neuređenih općinskih deponija na vodnom području rijeke Save u Federaciji BiH, analizirani su rezultati monitoringa procjednih voda sa uređenih (sanitarnih) deponija u Federaciji BiH na kojima ovlaštene laboratorije provode

monitoring procjednih voda, a u skladu sa Uredbom o uslovima ispuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije ("Službene novine Federacije BiH", broj 101/15, 01/16, 101/18). Proračuna tereta zagađenja sa deponija krutog mješanog komunalnog otpada na koje se otpad odlaže duže od 10 godina, za sastav procjednih voda uzete su prosječne vrijednosti zagađivača dobijene na osnovu prosječnih rezultata monitoringa sa Regionalne deponije "Smiljevići" Sarajevo i deponije "Desetina" Tuzla.

Za deponije na koje se otpad odlaže manje od 10 godina uzete su prosječne vrijednosti zagađenja dobijene na osnovu prosječnih rezultata monitoringa sa Regionalne deponije "Mošćanica" Zenica.

Za zaštitu okoliša od štetnog dejstva procjednih voda sa deponija krutog otpada važan je bilans materija u posmatranom vremenskom periodu (dan) kao i promjena koncentracije tokom vremena. Teret zagađenja odnosno ukupno opterećenje procjednih voda određenim polutantima u jedinici vremena (npr. dnevno) se proračunalo na osnovu slijedeće formule (Knežević, 2015):

$$T \text{ (kg/dan)} = Q_{f \text{ izlaza}} \text{ (m}^3\text{/dan)} \times C \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Gdje je:

- ▶ $T \text{ (kg/dan)}$ – ukupno dnevno opterećenje otpadnih voda određenim zagađujućim materijama;
- ▶ $Q_f \text{ (m}^3\text{/dan)}$ – količina procjednih voda – proticaj (u posmatranom vremenskom periodu);
- ▶ $C \text{ (kg/m}^3\text{)}$ – koncentracija pojedinih zagađivača u procjednim vodama.

4.1. Izuzetak od prethodno definisane metodologije

Prilikom procjene tereta zagađenja sa divljih i neuređenih deponija nisu uzeta u obzir 44 lokaliteta koje je općina Centar Sarajevo prepoznala kao potencijalne lokacije divljih i neuređenih deponija na svojoj teritoriji (slika 3.).

Naime, kako se ovdje radi o napuštenim i devastiranim objektima koji kao takvi ne mogu predstavljati klasične deponije krutog otpada, niti predstavljaju opterećenje za vodno područje rijeke Save u Federaciji BiH u konačnici, ovi objekti su snimljeni na terenu, definisani u prostoru i uvršteni u prostornu bazu podataka Agencija za vodno područje rijeke Save, te uneseni u ISV, ali za njih nije vršena procjena tereta zagađenja, nego su pomenute lokacije izostavljene.



Slika 4. Lokaliteti snimljeni na području općine Centar Sarajevo

Također, na području općine Kalesija snimljena je lokalna deponija „Vis“ (s obzirom da je navedena na dopisu općine Kalesija), ali kako je ista sanirana u skladu sa evropskim standardima, ona nije uzeta u obzir prilikom procjene tereta zagađenja.

4.2. Pregled snimljenih divljih i neuređenih deponija

Prilikom realizacije projekta na terenu je evidentirana i snimljena ukupno 771 deponija u 44 općine/grada, od čega 741 divlja deponija, 30 neuređenih općinskih deponija i jedna sanirana općinska deponija.

Najviše snimljenih deponija je u Zeničko-dobojskom kantonu (367 deponija). Od ukupnog broja snimljenih deponija u ovom kantonu, na području Grada Zenica nalazi se čak 245 divljih deponija. Po broju deponija slijedi Srednjobosanski kanton (172 deponije), zatim Kanton Sarajevo gdje je snimljeno 85 deponija. Od ovog broja 44 lokaliteta se nalaze na području općine Centar i riječ je o napuštenim/ devastiranim objektima, što se nije uzimalo u razmatranje.



Slika 5. Divlje i neuređene deponije u slivu rijeke Save u Federaciji BiH

Na području Unsko-sanskog Kantona snimljene su 74 deponije, od čega je 6 općinskih/ neuređenih deponija, dok je na području Bosansko-podrinjskog kantona snimljeno 29 deponija.

Na području Tuzlanskog kantona snimljeno je 28 deponija, dok je na području Posavskog kantona snimljeno 16 deponija i na području Kantona 10 je snimljena jedna neuređena deponija na području općine Drvar.

Od snimljenih deponija, u blizini vodotoka na udaljenosti do 500 metara nalazi se 339 deponija, dok se u zoni sanitarne zaštite izvorišta nalazi 95 deponija. Unutar granica zaštićenih područja i/ili zaštićenih područja osjetljivih na nutrijente nalazi se 145 deponija.

Kanton	Općina	Broj snimljenih divljih deponija	Broj snimljenih lokalnih deponija	Ukupno općina / grad	Ukupno kanton
USK	Bihać	0	1	1	74
	Bosanska Krupa	17	1	18	
	Bosanski Petrovac	3	1	4	
	Ključ	16	1	17	
	Sanski Most	6	1	7	
	Velika Kladuša	26	1	27	

Kanton	Općina	Broj snimljenih divljih deponija	Broj snimljenih lokalnih deponija	Ukupno općina / grad	Ukupno kanton
PK - K2	Domaljevac -Šamac	0	1	1	16
	Odžak	3	1	4	
	Orašje	10	1	11	
TK	Banovići	6	1	7	28
	Čelići	2	1	3	
	Gračanica	7	1	8	
	Kalesija	1	1 (sanirana)	2	
	Lukavac	0	1	1	
	Sapna	6	0	6	
	Živinice	0	1	1	
ZDK	Breza	27	0	27	367
	Doboj-Jug	2	0	2	
	Maglaj	12	1	13	
	Olovo	12	1	13	
	Tešanj	0	1	1	
	Vareš	1	1	2	
	Visoko	16	0	16	
	Zavidovići	47	0	47	
	Zenica	245	0	245	
Žepče	0	1	1		
BPK	Foča	6	0	6	29
	Goražde	12	1	13	
	Pale - Prača	10	0	10	
SBK	Bugojno	0	1	1	172
	Busovača	0	1	1	
	Donji Vakuf	1	1	2	
	Fojnica	19	1	20	
	Gornji Vakuf-Uskoplje	1	1	2	
	Jajce	4	1	5	
	Kiseljak	0	1	1	
	Kreševo	13	1	14	
	Novi Travnik	50	1	51	
Travnik	75	0	75		
KS	Općina Centar	44	0	44	85
	Ilidža	2	0	2	
	Novi Grad	27	0	27	
	Stari Grad	11	0	11	
K10	Drvar	0	1	1	1

4.3. Pregled osnovnih podataka o identifikovanim deponijama

Fizičko-geografskom analizom lokaliteta na kojima su identifikovane deponije u slivu rijeke Save u Federaciji BiH, može se zaključiti da se otpad najčešće odlaže uz nekatégorisane puteve u šumskom pojasu, uz korita rijeka, u vrtačama, jamama i uvalama. Mnoge divlje deponije se nalaze u blizini izvorišta koja služe za snabdijevanje stanovništva čime je direktno ugroženo zdravlje stanovništva.

Na deponijama su odbačene razne vrste otpada, s tim što je dominantno prisustvo mješovitog komunalnog otpada (otpad iz domaćinstva, plastika, staklo, metal, kabasti otpad, animalni otpad), zatim slijedi građevinski otpad (zemlja, cigla, građevinski šut, kamen, keramika), industrijski otpad (piljevina, industrijski muljevi i talozi), a vrlo rijetko opasni otpad (lijekovi, pesticidi, herbicidi, zauljena ambalaža).

Starost deponija varira od 1 do 25 godina za divlje deponije, dok je maksimalna starost lokalnih neuređenih deponija 59 godina.

Rezultati procjene tereta zagađenja sa deponija sortirani su po općinama/gradovima, kantonima, vodnim tijelima, podslivovima. Rezultati procjene tereta zagađenja na slivu rijeke Save u Federaciji BiH datu su u sljedećoj tabeli.

Tabela 2. Tabela pregled snimljenih lokalnih i neuređenih deponija po općinama i kantonima

Ukupni godišnji teret zagađenja kg/god	Parametar	Ukupno
	BPK ₅	154.567,91
	HPK	612.880,66
	Ukupne suspendovane materije	37.808,26
	Ukupni azot	168.395,59
	Ukupni fosfor	1.682,30
	Hloridi	429.087,94
	Sulfati	97.431,74
	Bakar - Cu	16,3
	Zink - Zn	565,39
	Kadmijum - Cd	27,5
	Olovo - Pb	55,33
	Mangan - Mg	255,3
	Željezo - Fe	1.811,51
	Aluminijum - Al	11,15

Tabela 3. Rezultati procjene tereta zagađenja na slivu rijeke Save u Federaciji BiH

4.4. Ugroženost površinskih i podzemnih vodnih tijela od direktnog uticaja deponija

Ugroženost površinskih vodnih tijela je procijenjena prostornom analizom identifikovanih divljih i neuređenih lokalnih deponija u odnosu na formirane bafer zone od po 200 metara sa obje strane u odnosu na površinska vodna tijela, te je na ovaj način ustanovljeno koje površinsko vodno tijelo ugrožavaju pojedini lokaliteti deponija. U narednoj tabeli dat je ukupni godišnji teret zagađenja po površinskim vodnim tijelima i po pojedinim parametrima.

Parametri	Ukupni godišnji teret zagađenja kg/god
BPK ₅	41.645,62
HPK	164.077,17
Ukupne suspendovane materije	7.428,08
Ukupni azot	44.876,31
Ukupni fosfor	448,5
Hloridi	110.962,92
Sulfati	23.679,05
Bakar - Cu	4,44
Zink - Zn	152,03
Kadmijum - Cd	7,28

Olovo - Pb	14,62
Mangan - Mg	68,76
Željezo - Fe	504,47
Aluminijum - Al	2,15

Tabela 4. Ukupni godišnji teret zagađenja po površinskim vodnim tijelima (kg/god)

Prostornom analizom identifikovanih divljih i neuređenih lokalnih deponija ustanovljeno je na kojem se podzemnom vodnom tijelu nalaze pojedini lokaliteti divljih i neuređenih deponija. U narednoj tabeli dat je ukupni godišnji teret zagađenja po podzemnim vodnim tijelima i po pojedinim parametrima.

Parametri	Ukupni godišnji teret zagađenja kg/god
BPK ₅	79.616,87
HPK	317.454,01
Ukupne suspendovane materije	20.637,61
Ukupni azot	87.077,17
Ukupni fosfor	872,12
Hloridi	224.228,41
Sulfati	51.407,77
Bakar - Cu	8,41
Zink - Zn	282,7
Kadmijum - Cd	14,09
Olovo - Pb	28,4
Mangan - Mg	127,33
Željezo - Fe	892,33
Aluminijum - Al	5,53

Tabela 5. Ukupni godišnji teret zagađenja po podzemnim vodnim tijelima (kg/god)

5. Akcioni plan rješavanja problema zagađenja po prioritetima

Zbog samog svog karaktera na divljim deponijama nema nikakvih sistema kontrole zagađenja. Na identifikovanim deponijama ne postoji infrastruktura niti sistemi za kontrolu procjednih voda. Na deponijama ne postoje izgrađeni sistemi kojim se vrši otplinjavanje

deponija, tako da postoji mogućnost eksplozija u tijelu deponija i mogućnost samozapaljenja deponija. Takođe se ne poduzimaju mjere zaštite deponija od strane operatera, protivpožarne mjere zaštite, dezinfekcije, deratizacije kao i ostale mjere koje moraju postojati na savremenim deponijama.

Uglavnom ne postoje sistemi za prikupljanje i odvodnju procjednih voda iz sloja deponovanog otpada. Procjedne vode iz tijela deponije mogu biti veoma zagađene toksičnim i biološkim materijama i kao takve predstavljaju potencijalnu opasnost po zdravlje stanovništva.

Neadekvatnim načinom odlaganja otpada na deponijama uveliko su ostavljene mogućnosti za naseljavanje ptica i glodara i stvaraju se nepovoljni uslovi za život korisnih vrste flore i faune. Na neuređenim deponijama stanište, osim glodara, nalaze insekti i šišmiši koji mogu biti prenosnici zaraznih bolesti.

Ograda oko kompleksa deponija uglavnom ne postoji ili je oštećena na više mjesta tako da ne ispunjava svoju osnovnu funkciju sprječavanja ulaska ljudi i životinja na prostor deponije i njihov kontakt sa otpadom.

Pošto se uglavnom ne vrši prekrivanje slojeva inertnim materijalom, i vlaženje sa vodom, na deponijama dolazi do pojave prašine i lebdećih čestica iz sloja otpada što je naročito izraženo pri istresanju otpada iz vozila. Ova pojava je posebno izražena u periodima vrućeg i suhog vremena kada postoji opasnost ugrožavanja najbliže okoline deponije.

Utjecaji na okolno zemljište se ispoljavaju kroz taloženje prašine, para i aerosoli uslijed raznošenja vjetrom. Ovaj uticaj zavisi od ruže i brzine vjetrova, kao i veličine odlagališta.

Sagledavajući uticaje identifikovanih deponija krutog otpada kao i njihov broj, može se zaključiti da trenutno stanje predstavlja veliki

rizik po okoliš i zdravlje stanovništva i da je potrebno pod hitno preduzimati aktivnosti na sanaciji deponija u smislu preduzimanja osnovnih mjera u cilju sprječavanja, smanjenja ili ublažavanje negativnih uticaja na okoliš.

Sanacija identifikovanih nesanitarnih općinskih deponija i divljih deponija zahtjeva preduzimanje aktivnosti kojima će se spriječiti dalje zagađivanje okoliša koje potiče od neadekvatnog i nelegalnog odlaganja otpada na identifikovanim lokacijama.

S obzirom da je izvršena identifikacija divljih deponija koje se bitno razlikuju u odnosu na lokaciju, količine i način odlaganja otpada predviđena su dva osnovna načina sankcije deponija:

1. Sanacija općinskih deponija na licu mjesta.
2. Sanacija divljih deponija premještanjem otpada na lokalnu općinsku deponiju ili na Regionalnu sanitarnu deponiju, ako se ista nalazi na teritoriji općine koja svoj otpad odvozi na Regionalnu deponiju.

5.2. Sanacija lokalnih općinskih deponija na licu mjesta

Prilikom provođenja aktivnosti na sanaciji razlikuju se dvije faze:

- ▶ Izrada neophodne projektne i studijske dokumentacije neophodne za dobijanje dozvola nadležnih organa (Plan prilagođavanja, Idejni projekat, Studija o uticaju na okoliš, Glavni projekat);
- ▶ Izvođenje radova na sanaciji deponije.

Sanacija deponije podrazumjeva niz mjera i aktivnosti kojima je cilj za smanjenje negativnog uticaja na okoliš i zdravlje ljudi postojećih nesanitarnih deponija. Osnovne aktivnosti koje treba provesti na sanaciji općinskih deponija su:

- ▶ Pripremni radovi
- ▶ Izgradnja donjeg multibarijernog sloja radi izolacije otpada od okoline
- ▶ Izgradnja obodnog kanala oko tijela deponije
- ▶ Izgradnja ograde oko tijela deponije
- ▶ Izgradnja sistema za sakupljanje deponijskih plinova
- ▶ Izgradnja sistema za sakupljanje i prihvat procjednih deponijskih voda
- ▶ Izgradnja gornjeg multibarijernog sloja uključujući i rekultivacioni sloj

Pripremni radovi. Da bi se moglo započeti sa sanacijom deponije potrebno je pripremiti teren, što znači očistiti ga. U sklopu čišćenja terena potrebno je ukloniti žbunje i ostalo rastinje.. Isto tako potrebno je skupiti stari otpad, privremeno ga deponirati na lokaciji tako da neće uticati odnosno smetati građevinskim radovima na sanaciji deponije.

Izgradnja donjeg multibarijernog sloja radi izolacije otpada od okoline. Uloga donjeg multibarijernog sistema zaštite je da spriječi mogućnost zagađivanja tla, podzemnih i površinskih voda sa procjednim vodama (filtratom) formiranim u tijelu deponije. Potrebno ga je izgraditi na onim deponijama koje se nalaze na takvom zemljištu čije su hidrogeološke karakteristike takve da predstavljaju vodopropusnu podlogu. Na lokaciji na kojoj se nalazi deponija, za koju se na osnovu hidrogeoloških karakteristika tla utvrdi da se radi o vodopropusnoj podlozi, potrebno je izgraditi kasete (ćelije) u koje će se vršiti prebacivanje i deponovanje otpada.

Izgradnja obodnog kanala oko tijela deponije. Uloga obodnog kanala jeste da spriječi ulaz oborinskih voda sa okolnog terena u tijelo deponije, čime se smanjuje količina procjednih voda i poboljšava stabilnost tijela deponije.

Izgradnja ograde oko tijela deponije. Funkcija ograde jeste da spriječi nekontrolisan ulaz ljudi i životinja na deponiju, čime se sprječava raznošenje otpada van deponije i sprječava rizik od potencijalnog širenja zaraze.

Izgradnja sistema za sakupljanje deponijskih plinova. Zbog biohemijskih procesa prilikom razgradnje otpada, koji se dešavaju u tijelu deponije, prilikom deponovanja otpada nastaje deponijski plin. Ukoliko ne postoji sistem za kontrolisano otplinjavanje deponije, ovaj plin se zadržava u tijelu deponije, te pri dostizanju određene koncentracije i pri naglom kontaktu sa vanjskim vazduhom, može doći do eksplozije i požara na deponiji. Zbog toga se u tijelo deponije ugrađuju biotrovi kojima se vrši kontrolisano otplinjavanje deponije.

Izgradnja sistema za sakupljanje i prihvat procjednih deponijskih voda. Da bi se spriječilo zagađenje zemljišta, podzemnih i površinskih voda na lokaciji deponije potrebno je pored donjeg multibarijernog sloja izgraditi i sistem za sakupljanje i tretman procjednih voda. S obzirom da se radi o sanaciji postojećih deponija, za tretman otpadnih voda predlaže se izgradnja lagune dovoljne zapremine u kojoj će se vršiti privremeni prihvat i skladištenje procjednih voda.

Izgradnja gornjeg multibarijernog sloja uključujući i rekultivacioni sloj. Nakon popunjavanja deponije poslednjim slojem otpada i njihovog prekrivanja inertnim materijalom pristupa se izgradnji gornjeg multibarijernog sloja. Njegova uloga je da izoluje otpad od vanjskih uticaja, spriječi proboj oborinskih voda u tijelo deponije, te da se izvrši tehnička i biološka rekultivacija lokacija na kojoj se nalazi deponija.

5.2. Sanacija divljih deponija premještanjem na drugo mjesto

Osnovna karakteristika lokacija na kojima se nalaze divlje deponije je da nisu pogodne za odlaganje otpada i predstavljaju izvor zagađenja, opasnost za okoliš a često i za zdravlje ljudi.

Zbog svega navedenog prilikom sanacija lokacija na kojima se nalaze divlje deponije potrebno je izvršiti potpuno uklanjanje otpada i njegov odvoz na općinsku deponiju ili na regionalnu sanitarnu deponiju ukoliko se ista nalazi u blizini.

Dakle osnovne aktivnosti koje se odnose na sanaciju divljih deponija su:

- ▶ Uklanjanje otpada sa lokacije.
- ▶ Odvoz otpada do lokacije odlaganja.
- ▶ Uređenja lokacije, tzv. „zatezanje terena“ („ravnanje i nasipanje sloja humusa debljine 20 cm).
- ▶ Deratizacija i dezinfekcija lokacije.
- ▶ Postavljanje table o zabrani bacanja otpada na lokaciju.

6.3. Procjena finansijskih sredstava potrebnih za sanaciju divljih i lokalnih općinskih deponija deponija

Analizom podataka o snimljenim deponijama prema utvrđenim prioritetima za sanaciju, ustanovljeno je da se najveći broj visoko-prioritetnih deponija za sanaciju nalazi na području Zeničko-dobojskog kantona, što je i očekivano s obzirom da je na području Grada Zenica snimljeno ukupno 245 lokacija divljih i neuređenih lokalnih deponija, od čega je 131 deponija svrstana u kategoriju visoko-prioriteta za sanaciju. Sledeći kanton po broju identifikovanih visoko-prioritetnih deponija za sanaciju je Kanton Sarajevo sa ukupno 22 visoko-prioritetne deponije za sanaciju,

nakon kojeg slijedi Srednjobosanski kanton sa ukupno 19 visoko-prioritetnih deponija za sanaciju (od ukupno 172 deponije na nivou kantona). U ostalim kantonima u odnosu na ukupan broj snimljenih deponija dominiraju deponije svrstane u kategoriju „ostalo“ po prioritetu sanacije, osim u općini Maglaj gdje je od 13 deponija, 12 svrstano u kategoriju „visoko-prioritetne deponije za sanaciju“, te općinama Novi i Stari Grad Sarajevo gdje takođe dominira kategorija „visoko-prioritetne deponije za sanaciju“.

Ukoliko se sve snimljene divlje i lokalne neuređene deponije posmatraju sa aspekta utvrđenih prioritetata za sanaciju, može se zaključiti da je najveći broj visoko-prioritetnih deponija za sanaciju u podslivu rijeke Bosne (201 deponija), pri čemu su u istom podslivu 262 deponije svrstane u kategoriju „ostalo“. Generalni zaključak je da se najveći broj deponija u slivu rijeke Save nalazi u kategoriji „ostalo“ (343 deponije, što čini 47,25% ukupnog broja snimljenih deponija), dok se

Podsliv	Broj deponija prema utvrđenom prioritetu za sanaciju				Ukupno podsliv
	Visoko prioritetna	Prioritetna	Srednje prioritetna	Ostalo	
Neposredni sliv Save	4	8	0	8	20
Podsliv Bosna	201	61	51	262	575
Podsliv Drina	1	0	0	34	35
Podsliv Una sa Koranom / Glinom	9	10	23	33	75
Podsliv Vrbas	8	7	0	6	21
Ukupno	223	86	74	343	726

Tabela 6. Broj snimljenih deponija po podslivovima po utvrđenim prioritetima za sanaciju

u kategoriji „visoko prioritetne deponije za sanaciju“ nalazi oko 30,72% od ukupnog broja snimljenih deponija.

Preostale dvije kategorije su gotovo podjednako zastupljene, odnosno „prioritetne deponije za sanaciju“ su zastupljene sa 11,85% (86 deponija), dok „srednje prioritetne deponije za sanaciju“ čine oko 10,19% (74 deponije) od ukupnog broja snimljenih deponija u slivu rijeke Save u Federaciji BiH.

Procjena finansijskih sredstava potrebnih za sanaciju lokalnih općinskih i divljih deponija se bazira na osnovu dosadašnjeg iskustva kod izrade projekata i izvođenja radova na sanaciji postojećih nesanitarnih općinskih deponija. U Studiji je dat proračun potrebnih finansijskih sredstava za sanaciju divljih i lokalnih neuređenih deponija, prema utvrđenim prioritetima što je razvrstano po kantonima, odnosno općinama/gradovima, kao i po podslovovima.

U sledećoj tabeli je dat pregled potrebnih finansijskih sredstava za sanaciju divljih i lokalnih neuređenih deponija na vodnom području rijeke Save u Federaciji BiH, prema utvrđenim prioritetima sanacije/remedijacije.

Kategorija	BAM	EUR
Visoko prioritetna	104.271.764,00	53.313.306,37
Prioritetna	2.106.466,00	1.077.018,96
Srednje prioritetna	937.628,00	479.401,58
Ostalo	7.340.115,00	3.752.941,21
Ukupno	114.655.973,00	58.622.668,13

Tabela 7. Procijenjeni troškovi sanacije deponija po utvrđenim prioritetima

S obzirom na utvrđene prioritete za sanaciju deponija, predložena je sledeća dinamika sanacije deponija:

Kategorija	Rok sa zanciju
Visoko prioritetna	Odmah
Prioritetna	U narednih 5 godina
Srednje prioritetna	U narednih 8 godina
Ostalo	U narednih 10 godina

7. Zaključak

U okviru Studije procjene tereta zagađenja vodnih resursa koji potiču sa deponija na vodnom području rijeke Save u Federaciji BiH na području općina/gradova koji pripadaju vodnom području rijeke Save identifikovane su, pozicionirane i snimljene lokalne neuređene i divlje deponije, uključujući sve podatke o njima koji su snimljeni direktno na lokaciji. Svi podaci su uneseni u ISV portal, dok su fotografije i terenski protokoli otpremljeni u digitalnoj formi direktno na portal.

Analizom rezultata dobijenih tokom realizacije ovog projekta utvrđeno je postojanje velikog broja divljih deponija na područjima lokalnih zajednica što se može pripisati niskoj javnoj svijesti o negativnom uticaju odlaganja otpada na nelegalna odlagališta, ali je takođe evidentan broj lokalnih neuređenih deponija koje je potrebno sanirati u skladu sa evropskim smjernicama i preporukama.

Procenjen je teret zagađenja na površinska i podzemna vodna tijela od ovih deponija, te izvršena prioritizacija i napravljen proračun potrebnih finansijskih sredstava za sanaciju divljih i lokalnih neuređenih deponija.

Ova Studija ima zadatak dati ulazne parametre za realizaciju mjere 70. Plana upravljanja 2016.-2021.: Prioritetno ukloniti sve divlje deponije smeća i otpadnog materijala iz zona koje imaju neposredan uticaj na kvalitet površinskih i podzemnih voda. Studija se može preuzeti na web stranici Agencije za vodno područje rijeke Save Sarajevo, link: https://voda.ba/uploads/docs/Studija_procjene_tereta_zagadjenja_vodnih_resursa_sa_deponija.pdf

LITERATURA

- [1] AVP Sava Sarajevo: Studija procjene tereta zagađenja vodnih resursa koji potiču sa deponija na vodnom području rijeke Save u Federaciji BiH, 2019.
- [2] Ljubisavljević D., Babić B., Đukić A., Jovanović B., (2001): Komunalna hidrotehnika primjeri iz teorije i prakse, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- [3] Ehrig, H.J., Robinson, H. (2011): Landfilling: leachate treatment. Solid Waste Technology & Management 1 & 2, 858-897.
- [4] Knežević, N. (2015): Uticaj strukture i faze degradacije komunalnog otpada na sastav procjednih voda sa deponija i izbor postupaka prečišćavanja, Doktorska disertacija, Tehnološki fakultet u Banja Luci.

Estimation of loads of pollution of water resources originating from landfills in the water area of the Sava river in the Federation of BiH

Plan upravljanja vodama na vodnom području Jadranskog mora u Federaciji BiH za razdoblje 2022-2027. Mogućnosti i izazovi

/

Water Management Plan in the Adriatic Sea basin in the Federation of B&H for the period 2022-2027. Opportunities and challenges

Ivan Vučković

Elektroprojekt, Građevinsko-arhitektonski biro, Odjel ekologije
Alexandera von Humboldta 4, 10 000 Zagreb, Hrvatska
ivan.vuckovic@elektroprojekt.hr

Mladen Plantak

Koni Čargonja-Reicher

Elektroprojekt, Građevinsko-arhitektonski biro, Odjel ekologije
Alexandera von Humboldta 4, 10 000 Zagreb, Hrvatska

Ivan Antunović

Ljudevita Gaja 9, 21 000 Split, Hrvatska

Ana Sudar

Damir Mrđen

Emil Bakula

Tihana Gašević

Dalibor Lasić

Agencija za vodno područje Jadranskog mora Mostar
Ulica dr. Ante Starčevića b.b., 88 000 Mostar, BiH

Izrada Planova upravljanja vodnim područjima u Federaciji BiH je definirana Zakonom o vodama (člancima 25–28). Prostor Federacije BiH obuhvaća dva vodna područja: Vodno područje rijeke Save i Vodno područje Jadranskog mora. Planovi upravljanja za oba vodna područja donose se u svrhu provođenja Strategije upravljanja vodama FBiH. Planovi upravljanja vodama revidiraju se i dopunjavaju svakih 6 godina sa novim podacima koji su prikupljeni u prethodnom planskom razdoblju.

Osnovni cilj Okvirne direktive o vodama (ODV) i Zakona o vodama je zadržati „visoko stanje“ voda tamo gdje takvo stanje postoji, spriječiti narušavanje postojećeg stanja i postići najmanje „dobro stanje“ prirodnih vodnih tijela i/ili „dobar potencijal“ jako izmijenjenih i umjetnih vodnih tijela.

Ciljevi i mjere upravljanja vodnim resursima na vodnom području Jadranskog mora u FBiH također su usklađeni sa ciljevima definiranim Strategijom upravljanja vodama FBiH 2010. – 2022. A dijele se na ciljeve vezane uz:

1. Pravni okvir upravljanja vodama
2. Ekonomski okvir upravljanja vodama
3. Institucionalni okvir za upravljanje vodama
4. Korištenje voda
5. Zaštitu voda
6. Zaštitu od štetnog djelovanja voda

ODV se temelji na 5 ključnih načela:

1. **Cjelovitost:** cijeli vodni sustav je uzet u obzir na koordiniran način, sinergije su identificirane, a dupliciranje izbjegnuto. Vodni sustav uključuje podzemnu vodu, površinsku vodu i morsku vodu.
2. **Integrirani pristup:** povezuje se s drugim sektorima, kao što su agronomija i prostorno uređenje
3. **Transparentnost:** sudjelovanje javnosti i savjetovanje je središnji predmet.
4. **Ekonomski pristup:** ekonomičnost mjera i učinkovita uporaba vode kroz odgovarajuće politike cijene su ključna pitanja.
5. **Ekološki pristup:** sveukupni cilj je postići najmanje dobru kvalitetu vodnog tijela, koja je osnovna jedinica u upravljanju vodama. To uključuje najmanje dobro ekološko stanje koji je ocijenjen kroz opsežan biološki monitoring.

U radu će biti prikazan napredak u ocjenjivanju i klasifikaciji stanja površinskih voda u odnosu na prethodno plansko razdoblje.

Ključne riječi

Površinske vode, podzemne vode, upravljanje vodama, monitoring, mjere

Drafting of plans for management of water areas in the Federation of BiH (FBiH) is regulated by the Law on Waters (Articles 25-28). The Federation of BiH territory covers two water areas: the Water Area of River Sava and the Water Area of the Adriatic Sea. The management plans for both these water areas are adopted for the purpose of implementing the FBiH Water Management Strategy. The water management plans are reviewed and amended every six years, with new data that was collected in the preceding planning period.

The fundamental goal of the Framework Waters Directive (ODV) and of the Law on Waters is to maintain the "high-quality condition" of waters where they are in this condition, to prevent downgrading of the existing condition, and to achieve at least a "good condition" of natural bodies of water and/or a "good potential" of highly altered and artificial bodies of water.

The goals and measures of water resources management in the Water Area of the Adriatic Sea in the FBiH have been aligned with the goals defined in the FBiH Water Management Strategy 2010-2022. These goals pertain to the following:

1. Legislative framework for water management
2. Economic framework for water management
3. Institutional framework for water management
4. Use of waters
5. Protection of waters
6. Protection from damaging effects of waters

The ODV is based on five key principles:

1. *Comprehensiveness: the entire water system is treated in a coordinated way; synergies have been identified and overlapping has been avoided. The water system includes underground waters, surface waters, and sea waters.*
2. *Integrated approach: there is a link to other sectors, such as agronomy and spatial planning.*
3. *Transparency: participation of the public and consultation is the central theme.*
4. *Economic approach: cost-effectiveness of measures and effective use of water through adequate pricing policies are key concerns.*
5. *Environmental approach: the overall goal is to achieve at least a good quality of a body of water, which is the basic unit in water management. This includes at least a good environmental condition, which is assessed through extensive biological monitoring.*

The paper will show the progress in the grading and classification of conditions of surface waters in relation to the preceding planning period.

Key words

Surface waters, underground waters, water management, monitoring, measures



3. KONGRES O VODAMA
11.12.2022. - SARAJEVO - BOSNA I HERCEGOVINA


Plan upravljanja vodama na vodnom području Jadranskog mora na području Federacije BiH 2022. - 2027. Mogućnosti i izazovi

Ivan Vučković¹, Mladen Platak¹, Koni Čargonja-Reicher¹, Ivan Antunović², Ana Sudar², Damir Mrđen², Tihana Gašević², Emil Bakula² & Dalibor Lasić²

¹Elektroprojekt, Građevinsko-arhitektonski biro, Odjel ekologije, Alexandra von Humboldta 4, 10 000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: ivan.vuckovic@elektroprojekt.hr
²Judevita Gaja 9, 21 000 Split, Hrvatska
³Agencija za vodno područje Jadranskog mora Mostar, Ulica dr. Ante Starčevića b.b. 88 000 Mostar, Bosna i Hercegovina



Map showing the water management area in the Adriatic region, covering parts of the Republic of Srpska, Federation of Bosnia and Herzegovina, and the Republic of Croatia. The map highlights the water management boundary, the state border, and the administrative boundary.



3. KONGRES O VODAMA
11.12.2022. - SARAJEVO - BOSNA I HERCEGOVINA

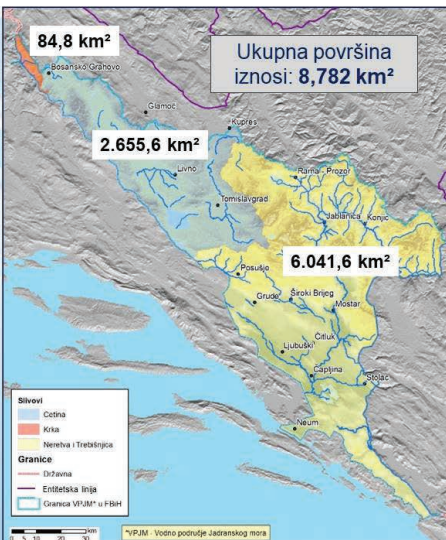
OPIS VODNOG PODRUČJA

Vodno područje Jadranskog mora u Federaciji BiH Obuhvaća dijelove:

- slivova rijeka Neretve i Trebišnjice
- sliva rijeke Cetine
- sliva rijeke rijeke Krke

Prostorna jedinica/županija	Površina		
	ukupna (km ²)	u slivu (km ²)	%
Hercegovačko-neretvanska	4.401	4.226	98
Zapadnohercegovačka	1.336	1.336	100
Srednjo-bosanska	3.199	12	0,4
Kanton Sarajevo	1.277	80	6
Herceg-bosanska/Kanton 10	4.934	2.990	61
Unsko – sanski kanton	4.193	20	0,5
Ukupno:	19.340	8.782	45

Broj stanovnika: 386.086



Detailed map of the water management area in the Adriatic region, showing the total area of 8,782 km². The map highlights the catchment areas of the Neretva and Trebišnjica rivers (2,655.6 km²), the Cetina river (84.8 km²), and the Krka river (6,041.6 km²). The map also shows the state border and the administrative boundary.



3. KONGRES O VODAMA
11.12.2022. - SARAJEVO - BOSNA I HERCEGOVINA

PLAN UPRAVLJANJA VODNIM PODRUČJEM

Izrađuje se za:

POVRŠINSKE VODE


Tekućice, jezera, prijelazne vode i priobalne vode



Šuica

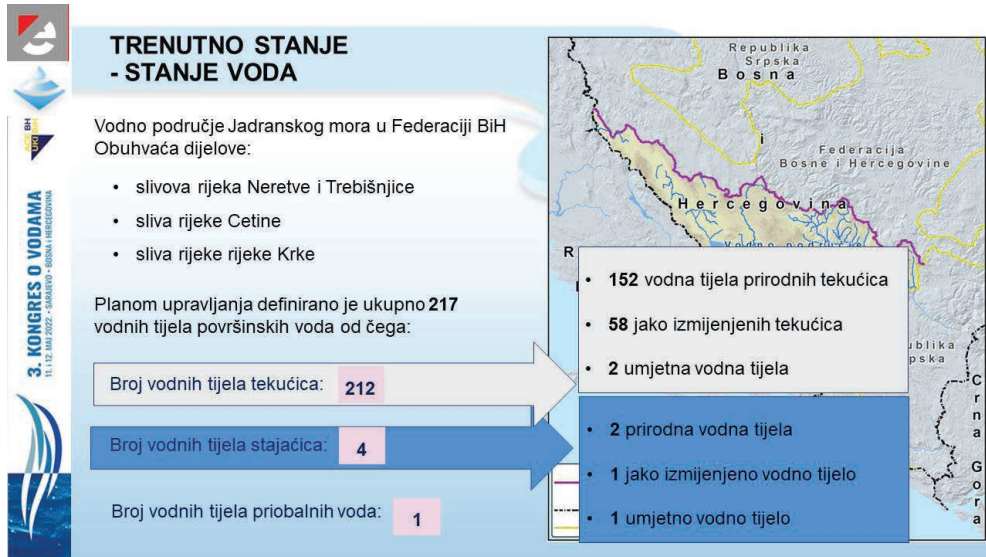


Boračko jezero



Neumski zaljev

PODZEMNE VODE



TREKUTNO STANJE - STANJE POVRŠINSKIH VODA

Sustav ocjenjivanja ekološkog i kemijskog stanja

➤ U FBiH uspostavljen je sustav ocjenjivanja ekološkog i kemijskog stanja površinskih voda sukladno ODV-u i ODLUCI O KARAKTERIZACIJI

- Temeljem ekspertnih procjena zasnovanih na raspoloživim podacima i iskustvima zemalja koje su donijele ove propise i/ili su izradile planove upravljanja u kojima su uspostavljeni sustavi ocjenjivanja
- Korištena je Odluka o karakterizaciji površinskih i podzemnih voda, referentnim uvjetima i parametrima za ocjenu stanja voda i monitoring voda (Sl. N. FBiH, 1/2014)

Elementi ocjene ekološkog stanja rijeka

Biološki elementi	Osnovni fiz-kem i kem elementi koji prate biol. el.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fitoplankton/perifiton ✓ Makrofiti ✓ Makrozoobentos ✓ Ribe 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Temperatura ✓ Režim kisika ✓ Sadržaj iona ✓ Hranjive tvari...

Stanje voda

Visoko
Dobro
Umjereno
Slabo
Loše

Ocjena potencijala

Maksimalan
Dobar
Umjeren

+ Kemijsko stanja vodnih tijela (prioritetne tvari)

STANJE PODZEMNIH VODA

Kemijsko stanje

Godina	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.
Broj stanica monitoringa	20	37	32	34	33
Ocjena kemijskog stanja po mjernim stanicama					
Dobro kemijsko stanje	19	26	31	33	32
Loše kemijsko stanje*	1	1	1	1	1

** Lokacija - B-2 Gabela, povećan sadržaj klorida u uzem području u sušnim razdobljima, ukupna ocjena za PVT je dobro kemijsko stanje*

Količinsko stanje

Monitoring se provodi mjerenjem protoka na velikim izvorima ili na neposredno pripadajućim nizvodnim vodotocima. Količinsko stanje je na jednom vodnom tijelu ocijenjeno kao loše, a to je PVT – Hutovo blato, dok su ostala vodna tijela ocijenjena kao dobra

EKOLOŠKO STANJE I EKOLOŠKI POTENCIJAL – površinske vode

Temeljem provedenog monitoringa 2015. – 2019. i analize pritiska i utjecaja

Ekološko stanje

Od 155 vodnih tijela površinskih voda (152 VT tekućica, 2VT stajaćica i 1 VT probalnih voda), koja se karakteriziraju ekološkim stanjem, kod njih **12** utvrđeno je visoko ekološko stanje, kod **125** je utvrđeno je dobro ekološko stanje, dok je kod **18** vodnih tijela utvrđeno umjereno ekološko stanje

Nisu utvrđena vodna tijela sa slabim ili lošim stanjem

Ekološki potencijal

Kod 62 vodnog tijela kod kojih se utvrđuje ekološki potencijal (59 VT jako izmijenjena i 3 umjetna vodna tijela), utvrđeno je da njih **49** ima dobar ekološki potencijal, dok ih **13** ima umjeren ekološki potencijal

Nisu utvrđena vodna tijela sa maksimalnim ekološkim potencijalom



Usporedba stanja/potencijala Plana upravljana vodama za razdoblje 2016-2021 i Plana upravljana vodama za razdoblje 2022-2027.

U odnosu na prethodno plansko razdoblje utvrđeno je poboljšanje ekološkog stanja na ukupno 19 prirodnih vodnih tijela. Na 7 vodnih tijela tekućica utvrđeno je poboljšanje iz dobrog u visoko stanje, dok je na 12 vodnih tijela tekućica poboljšanje bilo iz umjerenog u dobro stanje. Na jako promijenjenim vodnim tijelima na kojima se utvrđuje ekološki potencijal došlo je do poboljšanja potencijala na pet (5) jako izmijenjenih vodnih tijela tekućica.

Plan upravljanja vodama za razdoblje 2016-2021		Plan upravljanja vodama za razdoblje 2022-2027	
Stanje prirodnih vodnih tijela površinskih voda			
Prirodna vodna tijela tekućica	152	Prirodna vodna tijela tekućica	152
Prirodna vodna tijela stajaštica	2	Prirodna vodna tijela stajaštica	2
Prirodna vodna tijela priobalnih voda	1	Prirodna vodna tijela priobalnih voda	1
Jako izmijenjena vodna tijela tekućica	57	Jako izmijenjena vodna tijela tekućica	56
Jako izmijenjena vodna tijela stajaštica	1	Jako izmijenjena vodna tijela stajaštica	1
Umjerna vodna tijela tekućica	2	Umjerna vodna tijela tekućica	2
Umjerna vodna tijela stajaštica	1	Umjerna vodna tijela stajaštica	1
Stanje prirodnih vodnih tijela tekućica			
Visoko	417	Visoko	122
Dobro	36	Dobro	16
Umjeren	0	Umjeren	0
Loše	0	Loše	0
Slabo	0	Slabo	0
Stanje prirodnih vodnih tijela stajaštica			
Visoko	0	Visoko	0
Dobro	2	Dobro	2
Umjeren	0	Umjeren	0
Loše	0	Loše	0
Slabo	0	Slabo	0
Stanje prirodnih vodnih tijela priobalnih voda			
Visoko	0	Visoko	0
Dobro	0	Dobro	0
Umjeren	0	Umjeren	0
Loše	0	Loše	0
Slabo	0	Slabo	0
Potencijal jako izmijenjenih vodnih tijela tekućica			
Maksimalan	0	Maksimalan	0
Dobar	0	Dobar	0
Umjeren	17	Umjeren	12
Loš	0	Loš	0
Slab	0	Slab	0
Potencijal jako izmijenjenih vodnih tijela stajaštica			
Maksimalan	0	Maksimalan	0
Dobar	1	Dobar	1
Umjeren	0	Umjeren	0
Loš	0	Loš	0
Slab	0	Slab	0
Potencijal umjernih vodnih tijela tekućica			
Maksimalan	0	Maksimalan	0
Dobar	0	Dobar	0
Umjeren	0	Umjeren	0
Loš	0	Loš	0
Slab	0	Slab	0
Potencijal umjernih vodnih tijela stajaštica			
Maksimalan	0	Maksimalan	0
Dobar	0	Dobar	0
Umjeren	1	Umjeren	0
Loš	0	Loš	0
Slab	0	Slab	0



Okolišni ciljevi upravljanja vodama

Okolišni ciljevi upravljanja vodama, propisani ODV, su nepromjenjeni u odnosu na Plan upravljanja 2016.-2021., ali se ažuriranjem došlo do novih saznanja, (Karakterizacijski izvještaj Plana upravljanja 2022.-2027.), koja su utjecala na definiranje novelirane dinamike dostizanja okolišnih ciljeva za površinske i podzemne vode.

Površinske vode:

- Okolišni ciljevi upravljanja vodama su postavljeni radi osiguranja dugoročnog i održivog korištenja vodnih resursa te planiranja i provođenja mjera radi održanja i zaštite akvatičnog okoliša.
- Predviđena su 4 ciklusa realizacije okolišnih ciljeva kroz planove upravljanja u Federaciji BiH: 2016.-2021., 2022.-2027., 2028.-2033., kako je definirano po ODV u zemljama EU, a četvrti ciklus: 2034.-2039. je dodatni u odnosu na zemlje EU zbog nepovoljnog početnog položaja BiH u aktivnostima zaštite voda.

- Poređenje dinamike dostizanja okolišnih ciljeva za površinske vode po Planu upravljanja 2016.-2021. sa rezultatima monitoringa 2016.-2019., i analizom pritiska po Planu upravljanja 2022.-2027., ukazuju da dinamika dostizanja okolišnih ciljeva ne ide planiranim tokom.

Podzemne vode:

- Sprječavanje pogoršanja stanja VT-a površinskih i podzemnih voda i postizanje najmanje dobrog stanja.
- Planiranje dostizanja okolišnih ciljeva za podzemne vode podrazumjeva prvenstveno razvoj monitoringa kvalitete i količine ovih voda



Program mjera - Podloge za definiranje mjera

Ažuriranje Programa mjera iz planskog razdoblja 2016.-2021. podrazumjeva prikupljanje podataka o provedenim mjerama za taj planski period, što je podloga za plan ažuriranog Programa mjera za razdoblje 2022.-2027.

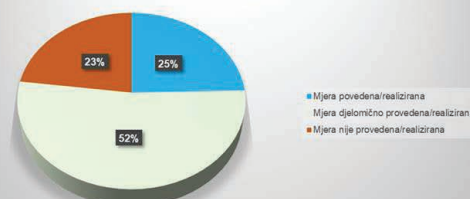
Program mjera po Planu upravljanja 2016.-2021. je izrađen za „značajna“ i „potencijalno značajna pitanja“ upravljanja vodama, uzimajući u obzir i „ključne tipove mjera - KTM“ koji su svojom numeracijom naznačeni uz svaku mjeru iz programa.

Predviđena je 61 mjera za plansko razdoblje 2016.-2021.

Ažurirano je na osnovu podloga za definiranje programa mjera:

- Značajna pitanja upravljanja vodama,
- Karakterizacijski izvještaj,
- Okolišni ciljevi upravljanja vodama,
- Izvještaji o implementaciji/stupnja izvršenja programa mjera Plana upravljanja (2016.-2021.).

**Prikaz realizacije mjera u PUVPM
2016. - 2019. godina**





Zaključak vezan za provođenje mjera iz Plana upravljanja vodama na vodnom području Jadranskog mora u FBiH 2016.-2021. godinu.

Iz podataka koje je AVPPM prikupila od strane općina je vidljivo da je došlo do pozitivnih pomaka u tehničkim pokazateljima korištenja vode u odnosu na podatke koje su prikupljeni do 2015. godine, a koji su se koristili za PUVPPM za razdoblje 2016-2021.

Poboljšanja su sljedeća:

- porast stupnja priključenja na vodovod **s 62% u 2015. na 78% u 2019.**,
- smanjenje gubitaka u vodoopskrbnoj mreži sa **60,00% u 2015. na 46,11% u 2019.**,
- porast stupnja priključenja na kanalizaciju sa **31,69% u 2015. na 40,39% u 2019.**, te
- Porast stupnja priključenosti uređaja za obradu otpadnih voda sa **6,23% u 2015. godini na 18,7% u 2019. godini**

što je direktna posljedica izvršenih ulaganja.

U razdoblju 2016.-2019. za realizaciju programa mjera uloženo je ukupno 111.852.684 KM, što znači da je za dvije trećine planskog ciklusa uloženo oko 52,49 % sredstava za realizaciju svih planiranih mjera



Prijedlog Programa mjera

Program mjera 2022.-2027.:

- Mjere su grupirane i prikazane vezano za „značajna“ i „potencijalno značajna“ pitanja upravljanja vodama, s naznakama pripadajućih „ključnih tipova mjera“ (KTM) po ODV.
- Određene mjere su nastale kao rezultat izmjena „značajnih“ pitanja upravljanja vodama po Planu upravljanja 2022.-2027.
- Mjere po Planu upravljanja 2016.-2021., čija je realizacija u toku, se nastavlja i na plansko razdoblje 2022.-2027.

Tipovi mjera:

Osnovne: puna transpozicija 4 EU Direktive koje su vezane za „značajna pitanja upravljanja vodama“:

- EU Direktiva o prečišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEC),
- Direktiva o zaštiti voda od zagađenja uzrokovano nitratima (91/676/EEC),
- Direktiva o kvaliteti vode namjenjene za ljudsku potrošnju (98/83/EC),
- Direktiva o očuvanju prirodnih staništa (92/43/EEC)

Dopunske:

- Zakonodavne mjere,
- Administrativno-institucionalne mjere,
- Istraživačko-studijske, i
- Ostale mjere.



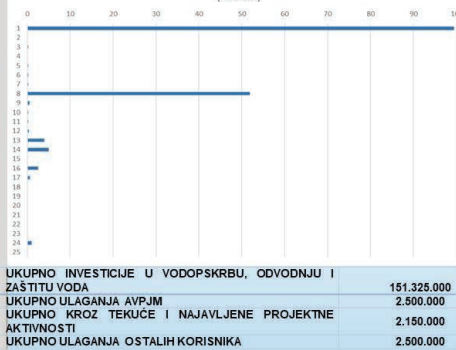
Program mjera - Troškovi implementacije

Procjenjuje se da je ukupno, po Programu mjera Plana upravljanja 2022.-2027., potrebno realizirati **161.525.000 KM**.

Najveća financijska sredstva je potrebno realizirati:

- **KTM 1:** Izgradnja ili nadogradnja uređaja/postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (UPOV) – **ulaganja 99.425.000 KM**
- **KTM 8:** Tehničke mjere poboljšanja efikasnog korištenja voda za navodnjavanje, industriju, energetiku i domaćinstva, što podrazumjeva i povećanje obuhvata stanovništva javnim vodovodima i smanjenje neprihodovane vode – **ulaganja 47.900.000 KM**
- **KTM 13:** Mjere zaštite voda za piće (npr. uspostavljanje zaštitnih zona, tampon zona itd.) – **ulaganja 4.300.000 KM**
- **KTM 14:** Istraživanje, unaprijeđenje baze znanja u svrhu otkanjanja nepoznanica smanjujući nepreciznost ulaznih podataka – **ulaganja 3.500.000 KM**
- **KTM 16:** Nadgradnja i poboljšanje postrojenja za prečišćavanje industrijskih otpadnih voda (uključujući i farme) – **ulaganja 2.550.000 KM**
- **KTM 24:** Mjere prilagodbe klimatskim promjene – **ulaganja 1.000.000 KM**

Financijska procjena troškova realizacije po KTM (mil. KM)



Uglavnom, radi se o mjerama u komunalnom vodnom sektoru – upravljanje otpadnim vodama i unaprijeđenje vodoopskrbe stanovništva, grupirane u okvirima KTM 1, 8, 13, 14, 16 i 21, i koje ukupno iznose 158.675.000 KM, (ili 98% od ukupno procjenjenih sredstava potrebnih za implementaciju KTM-ova).



Hvala na pažnji!!!

Nacrt plana upravljanja nanosom za sliv rijeke Save

/

Outline of the Sediment Management Plan for the Sava River Basin

Damir Bekić, Ph.D., M.Sc., B.Sc.

University of Zagreb, Faculty of Civil
Engineering Kačićeva 26, Zagreb
damir.bekic@grad.hr

Dijana Oskoruš, Ph.D., B.Sc.

Croatian Meteorological and Hydrological Service
Ravnice 48, Zagreb
oskorus@cirus.dhz.hr

Samo Grošelj, B.Sc.,

International Sava River Basin Commission
Kneza Branimira 29, Zagreb
sgroselj@savacommission.org

Emina Hadžić, Ph.D., M.Sc., B.Sc.

University of Sarajevo, Faculty of Civil Engineering
Patriotske lige 30, Sarajevo
emina_hadzic@gf.unsa.ba

Florjana Ulaga, M.Sc., B.Sc.

Slovenian Environment Agency
Vojkova 1b, Ljubljana
florjana.ulaga@gov.si

Marina Babić Mladenović, Ph.D., B.Sc. in Civil Engineering

Jaroslav Cerni Institute
Jaroslava Cernog 80, Belgrade, Serbia
marina.babic-mladenovic@jcerni.rs

Problematika riječnog nanosa postaje sve značajnija. Uzroci nastanka nanosa su brojni i kreću se od neplaniranih antropogenih aktivnosti u slivu do prirodnih procesa koji se neprestano odvijaju, odnosno njihove interakcije. Sve ovo dovodi do spoznaje da je u proučavanju riječnog nanosa neophodan sistematski pristup. Prepoznajući ovu potrebu, Međunarodna komisija za sliv rijeke Save (ISRBC), preko tijela koje provodi Okvirni sporazum o slivu rijeke Save (FASRB), razvila je Protokol o upravljanju nanosom. Ovaj protokol potvrđuje potrebu za efikasnom saradnjom između država sliva rijeke Save i promovira održiva rješenja za upravljanje nanosom. Kako bi se ispunili gore navedeni zahtjevi, na inicijativu UNESCO-ovog ureda u Veneciji i Međunarodne komisije za sliv rijeke Save (ISRBC), osnovana je međunarodna grupa eksperata za analizu postojećeg sistema praćenja nanosa i institucionalnog okvira te za pripremu Nacrta Plan upravljanja nanosom za sliv rijeke Save. Glavni cilj ovog Pregleda plana, je da pruži analizu postojećih praksi upravljanja nanosom u slivu rijeke Save i da identifikuje dalje korake za razvoj punopravnog Plana upravljanja nanosom za sliv rijeke Save. Ovaj rad daje kratak pregled aktivnosti sprovedenih u pripremi Okvirnog nacrta Plana.

Ključne riječi

Suspendirani nanos, vučeni nanos, monitoring, erozija

The issue of river sedimentation is becoming increasingly important. The causes of sediment formation are diverse and range from unplanned anthropogenic activities in the catchment to natural processes that are constantly occurring, or their interaction. All of this leads to the recognition that a systematic approach is needed in the study of river sediments. Recognizing this need, the International Sava River Basin Commission (ISRBC), through the body that implements the Sava River Basin Framework Agreement (FASRB), has developed a Protocol on Sediment Management. This protocol confirms the need for effective cooperation between the Sava River Basin states and promotes sustainable sediment management solutions. In order to meet the above requirements, on the initiative of the UNESCO Venice Office and the International Sava River Basin Commission (ISRBC), an international group of experts was established to analyse the existing sediment monitoring system and institutional framework and to prepare the Outline of the Sediment Management Plan for the Sava River Basin. The main objective of this Outline of Sediment Management Plan is to provide an analysis of existing sediment management practices in the Sava River Basin and to identify further steps for the development of full-fledged Sediment Management Plan for the Sava River Basin. This paper provides a brief overview of the activities conducted in the preparation of the Outline.

Key words

Suspended sediment, bedload sediment, monitoring system, erosion

The Protocol on sediment management to the FASRB, in force since October 2017, regulates the procedures of mutual cooperation related to sustainable sediment management to protect the integrity of the water and sediment regime in the Sava River Basin. The Protocol emphasizes the importance of sustainable sediment management for maintaining the water regime, promoting active international cooperation to improve appropriate policies and strengthen coordinated actions at all appropriate levels to promote sustainable sediment management related to quality and quantity within the whole Sava River Basin.

In accordance with the provisions of the Protocol, the ISRBC accepted the Program for the Development of Sediment Management Plan in the Sava River Basin, which contains a list of activities and actions required for the development of the Plan in accordance with the Protocol. The Program envisages that the Plan will be developed through the technical assistance with support of the ISRBC's Expert Groups.

To meet to the above requirements, the international and national experts have been commissioned upon the initiative of UNESCO Venice Office and the International Sava River Basin Commission (ISRBC) to analyse the existing sediment monitoring systems and institutional framework and to prepare the Outline of the Sediment Management Plan for the Sava River Basin. In the Outline, the existing national systems were initially analysed to gain a deeper understanding of the organisational and institutional framework of the sediment monitoring system and related activities (water regime

management, reservoir management, biodiversity and ecosystem monitoring, etc.). The group conducted a comprehensive overview of existing sediment monitoring systems and identified monitoring and sampling gaps. Data uncertainties were identified, based on which a proposal for sediment monitoring improvement was given. In addition, various sediment management measures (erosion control, water regime, navigability, wetlands and biodiversity conservation, reservoir sedimentation) were considered and presented with a proposal for their improvement. The collected information form the basis for the elaboration of a proposal for Sediment Management Plan for the Sava River Basin.

The main objectives of the Outline of Sediment Management Plan were: (i) An analysis of sediment management practices in Sava River Basin (Slovenia, Croatia, Bosnia and Herzegovina and Serbia); (ii) A proposal of a detailed work plan for preparation of the full-fledged Sediment Management Plan.

1. Main characteristics of the Sava river basin

The Sava River Basin is the most significant sub-basin of the Danube River Basin with a total area of 97,272 km² and area is shared among six countries: Slovenia, Croatia, Bosnia and Herzegovina, Serbia, Montenegro, and Albania. It encompasses 12% of the Danube basin and it is the second largest Danube tributary catchment by area size. Its water resources constitute nearly 80% of the total freshwater resources in those four countries.

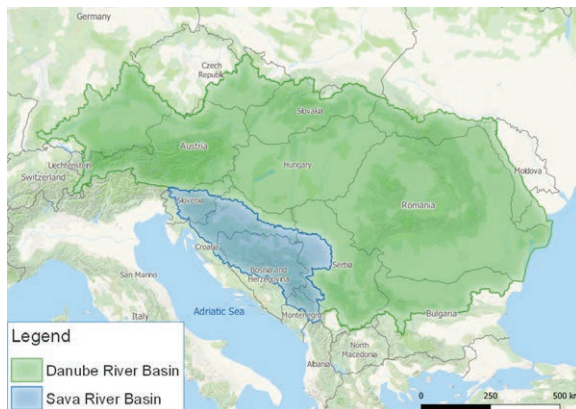


Figure 1. Location of the Sava River Basin within the Danube River Basin

Terrain in the Sava River Basin significantly changes from the source in the west towards its confluence with the Danube River in the east. The elevation ranges between 71 m a.s.l. at the mouth of the Sava River in Belgrade (Serbia) and 2,864 m a.s.l. (Triglav, Julian Alps). The mean elevation of the basin is approximately 545 m a.s.l. According to the FAO classification, the dominant slope in the basin is moderately steep. The mean value of the slope in the Sava River Basin is 15.8 %.

High mountains dominate in the upper part of the basin which belongs to Slovenia. A remarkable distinction in landscape exists between the southern and northern part of the basin. The southern part is hilly and mountainous, with mountains up to 2,500 m a.s.l. high, parti-

cularly in Montenegro and Northern Albania. The northern portions of the middle and lower part of the Sava River Basin are characterized by low mountains and flat plains. This area is part of Pannonian Plain, a low-lying, agricultural region.

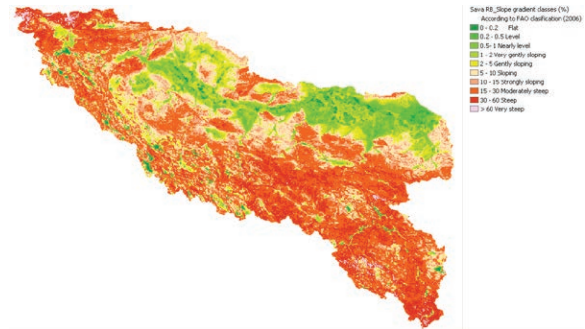


Figure 2. Slope gradient in the Sava River Basin

Figure 2 represents slope gradient of the terrain in the Sava River Basin (derived from the Shuttle Radar Topography Mission), which is one of the main factors influencing the sediment yield and transport.

The two dominant land cover classes are forests and semi-natural areas (more than 50% of the basin area) and agricultural lands (40% of the area), while artificial surfaces, wetlands and inland waters cover 3,6% of the area.

Average annual rainfall in the Sava River Basin is estimated around 1,100 mm. Precipitation amount is very variable within the basin from the 2,200–2,300 mm in the mountainous parts of the basin to the 600–700 mm in the than northern and eastern regions. Most rainfall occurs in the late summer season or during autumn. A significant portion of precipitation falls in form of snow which then causes a relatively high spring runoff. An average annual evapotranspiration for the whole catchment area is estimated to 530 mm.

An average discharge at the confluence to the Danube River is about 1,700 m³s⁻¹ which

results in the long-term average unit-area-runoff for the complete catchment of about $17.5 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. According to climate characteristics, floods usually appear in the spring and in the autumn. Spring floods are the result of snow melting while autumn floods are caused by heavy rainfall. Depending on the cause, these types of flood exhibit different features. Spring floods are longer, while autumn floods have shorter duration and very high extreme flows.

2. Background to the sediment transport in the Sava River Basin

The river sediment is a result of surface soil erosion caused by rainfall, temperature differences, wind, terrain slopes and rainfall water. Sediment transport accounts for the transport of material (clay, silt, sand, gravels, and boulders) in rivers and streams. Bedload is, according to its origin, a trough-forming sediment that settles at the bottom of the watercourse bed. The bed load characterizes grains rolling, sliding and saltating along the river bed, while suspended load refers to smaller sediment grains maintained in suspension by turbulence. Transported amounts are expressed as suspended sediment transport rate (SST) and bedload transport rate (BLT).

The Sava River is a typical large alluvial river, flowing mostly in its own alluvial deposits. Only in its upper course in Slovenia it has cut its channel into the mountains or hills. Elsewhere, the river flows on plains where it has deposited large amounts of coarse and fine-grained sediments, and where one can observe different river terraces and wide alluvial floodplains (formed in the past since the last glaciation). Without regulation works and anthropogenic interventions, the Sava River would mainly be a large meandering river in almost its entire course. However, the

Sava and its tributaries have been experiencing major hydromorphological changes in the last two centuries.

The surface erosion is strongly present in the upstream parts of the Sava River Basin and the dominant sediment transport in rivers occurs during flood flows. The Sava River downstream of Zagreb and lower parts of its tributaries are typical alluvial watercourses with river channel formed by their own sediments. Bedload has a relatively small share in the total sediment transport in the Sava River (5-15 %), but it has an important role in morphological processes during flood events in particular.

A rather sharp transition from a gravel-bed river (at the Upper Sava) to a sand-bed river (at the Middle Sava) is formed at Rugvica near km 680. The mean sediment diameter from the Sava source to the knickpoint close to Rugvica is of the order of several tens of mm. Riverbed material on the Middle and Lower Sava is finer (sand and fine gravel), having $D_{50\%}$ mainly below 12 mm (Figure 3). It should be noticed that the main right tributaries (Vrba, Bosna and Drina Rivers) bring coarse gravel material into the Sava riverbed, forming large and visible gravel bars at the mouths.

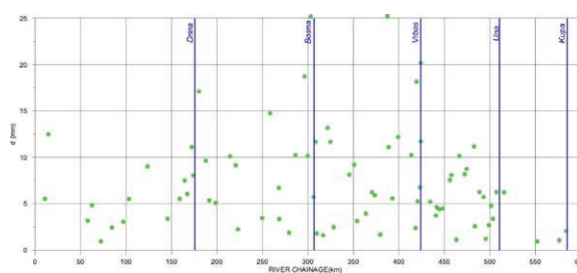


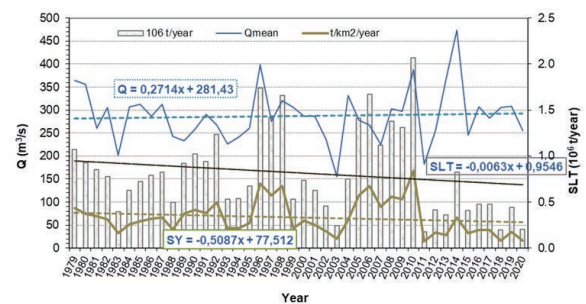
Figure 3. Longitudinal distribution of the Sava riverbed sediment diameter $D_{50\%}$

3. An overview on the existing sediment monitoring system and data on sediment quantity and quality

Understanding of sediment transport in rivers is, according to the Water Framework Directive (WFD), is one of the most important elements of the hydromorphological elements, which are part of ecological status of the water body. The Directive requires implementation of river restoration measures and achievement of good hydromorphological conditions (close to undisturbed sediment regime). For a careful development and implementation of sediment management measures (for river channels and basin-wide measures) a more detailed understanding of the existing sediment condition and regime in the Sava RB is required. The sediment monitoring system is organised by the national hydrometeorological services and comprises mainly sediment quantity, while sediment quality monitoring is present to a lesser extent. The sediment quantity monitoring includes suspended sediment monitoring with the determination of the concentration and load of suspended sediment at hydrological stations.

Considering the situation in the countries of the Sava River Basin, it can be said that suspended sediment monitoring is currently performed only in Slovenia by Slovenian Environment Agency (ARSO) and in Croatia by National Meteorological and Hydrological Service (DHMZ). Regular sampling of suspended sediments only exists in Croatia (8 stations), while in Slovenia it is performed only during floods. In Croatia, regular suspended sediment monitoring is carried out through daily point samplings of water from watercourses and lakes. In period 1979-2020 at gauging station Sava - Podsused žičara (Figure 4) there were some specific years with extremely high annual suspended sediment transport (SST)

(period 1996-1998; 2005-2010). According to the daily suspended sediment concentration (SSC) measurements a significant decrease of the annual suspended sediment transport (SST) and specific yield (SY) can be observed in the last decade (Figure 4). In contrast, mean annual flows show slightly increasing trend indicating anthropogenic influences in the upper part of the basin.



Q - mean annual flow; SST - annual suspended sediment transport; SY - annual specific yield

Figure 4. Long-term suspended sediment transport (SST) and specific sediment yield (SY) for HS Sava - Podsused žičara, period 1979-2020

Profile suspended sediment measurements are performed only in Croatia. Profile sediment concentration is assessed on 3 stations mostly three times a year by using ADCP together with point sampling of sediments in a water column.

In Bosnia and Herzegovina systematic sediment monitoring (sediment quantity and sediment quality) on the Sava River or its tributaries does not exist. Occasional monitoring of sediment is conducted for individual projects. The exceptions are some hydrological stations with continuous automatic turbidity measurement, such as gauging station Goražde on the Drina River.

In Republic of Serbia, RHMSS conducted suspended sediment monitoring in the past on the Sava river (3 stations), Drina river (4 stations), and Kolubara river (4 stations). The methodology included daily point sampling (11

volume). In the frame of the UNESCO financed project, a turbidity sensor was installed on the left bank of the Sava river at gauge station Sremska Mitrovica in 2017. Correlation between water turbidity (NTU) and average concentration of suspended sediment (SSC) was established (Figure 5) and SSC was estimated during 2017 (Figure 6). Unfortunately, turbidimeter is out of function since March 2018.

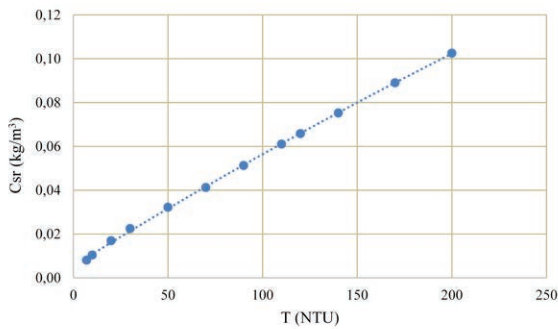


Figure 5. Correlation between water turbidity and average SSC at g.s. Sava - Sremska Mitrovica

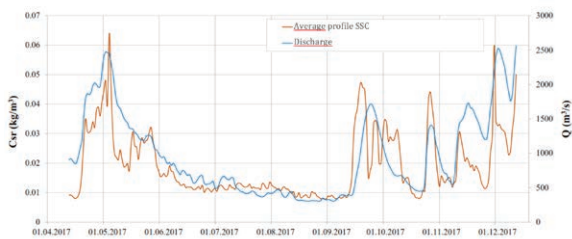


Figure 6. Data on river discharge and average SSC in 2017 at g.s. Sava - Sremska Mitrovica

3.1. Bedload monitoring system

Bedload transport measurements are currently not being carried out in the Sava River Basin. In Croatia, the only systematic bedload measurements in the Sava River were performed at g.s. Sava - Podsused in period 1968-1986 with an addition of the grain-size curve determination on individual measuring verticals. Nowadays, the granulometric distribution of bedload is regularly monitored at two locations in Sava river (Rugvica and Jasenovac) twice a year (Figure 7). Changes in

the granulometric composition and geometry of the river bed are monitored over a longer period of time in order to detect erosion and deposition processes in the river bed.

In Bosnia and Herzegovina, systematic monitoring of sediment (sediment quantity and sediment quality) on the Sava River or its tributaries does not exist. In the project »Study of river sediment transport, Pilot project lower course of the river Bosna«, bedload measurements were performed at two sites (Maglaj and Bosanski Samac) on the Bosna river.

In Republic of Serbia, bedload measurements were previously conducted only for individual studies and projects, together with the bed material sampling along the Sava River and in reservoirs on the Drina River.

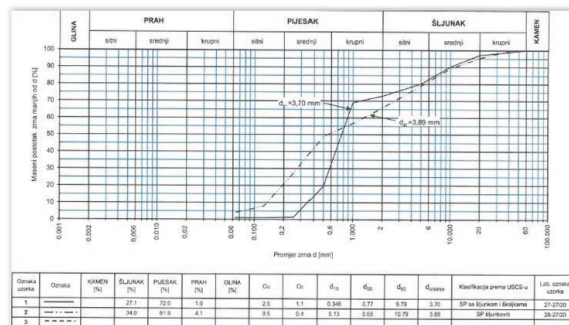


Figure 7. The bedload grain-size curve at g.s. Sava-Jasenovac in Sept 2020

3.2. Sediment quality monitoring system

In Slovenia, sediment quality monitoring is part of a regular monitoring system at 12 stations and is performed by the Slovenian Environment Agency (ARSO). Monitoring of priority and priority hazardous substances in sediments is the fraction less than 63 μm and it is carried out every three years. Investigations of the following parameters is performed: di (2-ethylhexyl) phthalate, C10-C13 chloroalkanes, brominated diphenylethers, cadmium,

lead, mercury silver, hexachlorocyclohexane, pentachlorobenzene, hexachlorobenzene, hexachlorobutadiene, tributyltin compounds, anthracene, fluoranthene, polyaromatic hydrocarbons - benzo (a) pyrene, benzo (b) fluoranthene, benzo (g, h, i) perylene, benzo (k) fluoranthene, indeno (1,2,3-cd) pyrene and tributyltin compounds. Slovenia has established bilateral monitoring of transnational watercourses with neighbouring countries (Austria, Hungary, Croatia). Monitoring has been going on for a number of years, and after the introduction of WFD the programme was adapted. Some measuring points on the Sava River are also included in the monitoring within the framework of international conventions (TNMN - Trans National Monitoring Network under the Danube Convention). The data on sediment quality at measuring stations and the monitoring programme of the chemical and ecological status of water are available on-line.

In Croatia, monitoring of the ecological and chemical state of sediments is performed on supervisory monitoring stations by Croatian Waters on a yearly basis. Monitoring stations are set up for catchments larger than 2500 km² and on transboundary watercourses. The chemical analysis of sediments includes total nitrogen, total phosphorus, cadmium, nickel, lead, mercury, mineral oil, polychlorinated biphenyls, organochlorine pesticides, alachlor, triazine pesticides, pentachlorobenzene. The results of supervisory water quality monitoring are published in the annual reports. In the year 2009, the supervisory quality monitoring was carried out at 31 measuring stations, and according to the investigated biological elements, 8 monitoring stations have good status, 11 moderate status, while 12 monitoring stations have poor status. Besides the regular monitoring, the periodic chemical analyses are performed by different institutions on a project basis.

In Bosnia and Herzegovina, systematic monitoring of sediment quality on the Sava River or its tributaries does not exist. Occasional monitoring is conducted for individual projects. The project results are usually not publicly available.

In Serbia, monitoring of sediment quality was performed between 2012 and 2017 on 17 locations in the Sava River Basin. Samples were analysed to detect heavy metals (Zn, Cu, Cr, Pb, Cd, Hg, Ni, As), and the organic pollutants as polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated biphenyls (PCBs), organochlorine pesticides, and triazine-based pesticides.

4. Proposals for improvements of the existing sediment monitoring systems

4.1. Gap analysis

Regular monitoring of sediment transport and sediment quality on a sufficient number of gauging stations is prerequisite for a sustainable sediment management at the river basin level and for achieving a good water status. The general gaps in the existing sediment monitoring system in the Sava RB include: (a) poor density of monitoring stations, (b) limited sediment monitoring data availability for a reliable basin-wide sediment assessments, (c) lack of monitoring data on reservoir sedimentation, and (d) lack of appropriate storage and manipulation of datasets.

Analysing the situation in the Sava River Basin, the following gaps can be found:

- ▶ In general, the number of suspended sediment monitoring stations is insufficient with a continuously decreasing trend. The SSC monitoring

on the Sava main channel is performed only at 4 stations (all are in HR), and no monitoring on the Sava main channel exists in other states (see Table 5). There are additional 6 stations on the Sava tributaries (2 stations in SI, 4 stations in HR) with the SSC monitoring. The SST on the Sava main channel is assessed only at 3 stations (all are in HR), and at 6 additional stations on the Sava tributaries (2 stations in SI, 4 stations in HR). Even though some SSC monitoring systems are in place (SI, HR), the sediment measurement techniques and frequency differ and, therefore, do not form a coherent basin-wide sediment quantity (SST) datasets. The SSC and SST are obtained from continuous turbidity measurements (in SI) or from daily point samples (in HR).

- ▶ The suspended sediment monitoring data are available either on-line (SI) or on demand (HR).
- ▶ The bedload monitoring includes only a grain-size distribution at 3 stations (all are in HR). The BLT is not assessed in the Sava RB. The grain-size distribution monitoring data are available on demand (HR).
- ▶ The river cross-sectional monitoring in the Sava RB usually includes the river channel surveys at hydrological stations (SI, HR, BA, RS). Entire reaches of the Sava river are being surveyed in HR and RS (at regular intervals) for the purpose of technical maintenance of waterways and navigation safety. Geodetic surveys on transboundary river section is subject to protocols on the utilisation of the banks of another state. Therefore, cross sections on the interstate flow of the Sava and its tributaries have not been recorded in full width in some sections (HR, BA).

The river survey monitoring data are available on demand only.

- ▶ The status of dredging from rivers and lakes is well managed in the Sava RB. In all states the dredging is regulated by law and managed by competent authorities. Annual dredging amounts are being reported to competent authorities and the data is shared with the ISRBC.
- ▶ Currently there is no reservoir sedimentation monitoring system in the Sava RB. The monitoring of the hydropower plant reservoirs is carried out occasionally by the HPP owners, but still irregular and data are restricted. Reservoir monitoring is prescribed in the Water permits for the HPP operation (in RS) and it is supervised (in SI). As there is no regular monitoring system in place, the data on reservoir sedimentation processes are missing.
- ▶ The monitoring of soil erosion in the Sava RB is not present, but recently some useful information is becoming available, only in Slovenia.
- ▶ The sediment quality monitoring system is established only in some states (SI, HR), while in other parts the monitoring it is either not present (BA) or it is occasional (RS). As the programme is not harmonised among the states, the monitoring parameters are not common.

4.2. Proposals for improvements

It can generally be concluded that the existing sediment quantity monitoring in the Sava RB is inadequate and there are many avenues for improvement.

Proposal 1: Increase the number of sediment monitoring stations

The river network in the Sava RB is well developed, with 15 first-order tributaries with catchment larger than $>1000 \text{ km}^2$ and some with a significant sediment yield. The number of monitoring sites in the Sava RB is below the WMO recommendations (The Guide to Hydrological Practices, Vol. I 4th ed., 1981). According to the recommendations, the sediment transport should be monitored on 15 % to 30 % of the hydrological stations (in minimum hydrological network). Considering the minimum density of hydrological stations, the following minimum density of sediment monitoring stations is required: (i) In flat regions of temperate or Mediterranean zones: $1000\text{-}2500 \text{ km}^2/\text{station}$; (ii) In mountainous regions of temperate or Mediterranean zones: $300\text{-}1000 \text{ km}^2/\text{station}$.

The identification of stations for sediment monitoring should consider the following: (i) stations should experience a dominant sediment yield from the upstream basin (on the Sava river and main tributaries); (ii) locations near state borders; (iii) locations before and/or after the confluence with main tributaries.

Proposal 2: Establishment of efficient data storage and exchange

For improvement of the sediment monitoring system the following is recommended: (i) Systematic and reliable storage of all data and information on sediment sampling and transport; (ii) Regressions between all relevant

variables ($\text{SSC} = f(Q)$; $\text{SST} = f(Q)$; $\text{SSCprofile} = R \text{ SSCpoint}$) should be archived in the same way as discharge rating curves (graphical and analytical presentation for the period); (iii) Annual SST and BLT as well as cross-sectional surveys should be part of regular reports and should be available on demand.

Proposal 3: Establishment of cross-border cooperation and data exchange

- ▶ Cross-border cooperation between states is important. This accounts for the exchange of experiences, common methodology and data between Sava RB countries.
- ▶ Periodic common SST and BLT measurements on at least three control cross-border profiles are recommended (Sava – Medsave, Sava – Jasenovac/Drenje Brdovečko and Sava – Gunja/Jamena).
- ▶ Data on sediment sampling and transport on common cross-border profiles should be exchanged between the Sava RB countries.

Proposal 4: Improvements in suspended sediment monitoring

The existing SSC measurements and SST assessments are obtained either from daily point samplings combined with occasional profile samplings and ADCP (in HR) or from continuous turbidity monitoring (in SI). To allow for more comprehensive SSC and SST measurements, and especially during flood events, the following measurements should be included in the monitoring programme: (i) Regular: SSC, SST and grain-size distribution of SS on all stations; (ii) Harmonisation of SSC monitoring among member states; (iii) Periodic: Profile SSC on all stations; (iv) The SSC monitoring should combine all three measurement techniques: (Daily point sampling on all stations; Periodic profile measurements

(profile sampling + ADCP) on all stations and establishment of relationship between point and profile concentration (SSC_{profile} = R SSC_{point}); Continuous turbidity monitoring on all stations)

Proposal 5: Establishment of bedload monitoring

The existing BLT monitoring is not existing. The following measurements should be established in the monitoring programme: (i) Regular: Grain-size distribution of BL on all stations; (ii) Periodic: BLT measurements on all stations; (iii) The BLT monitoring should combine different measurement techniques (Point sampling, Estimation from ADCP bottom tracking)

Proposal 6: Improvements in river cross-sectional monitoring

The river cross-sectional monitoring in the Sava RB is established, but it is periodical with different intervals in the states (from 4 times per year to a couple of years). The following improvements are recommended: (i) River surveys should account also main Sava tributaries, besides the Sava main channel; (ii) To allow for basin-wide analysis of morphological changes (at least for some years), the river survey frequency should be harmonised among countries; (iii) Bilateral agreements between the Sava RB states on the utilisation of water and land for surveys of common sections; (iv) The monitoring data should be stored in digital format (graphical and tabular) and available on demand.

Proposal 7: Improvements in dredging monitoring

The status of dredging from rivers and lakes is regulated and well managed in the Sava RB. The dredging monitoring is regular, and data are shared. The following minor impro-

vement is recommended: (i) Establishment of sediment quality monitoring system of dredged material; (ii) Data and reports on locations and type of dredging should be publicly available.

Proposal 8: Improvements in reservoir sedimentation monitoring

Currently there is no reservoir sedimentation monitoring system in the Sava RB. The monitoring of the hydropower plant reservoirs is carried out occasionally (by the HPP owners) and data are restricted. The following improvements are recommended: (i) Annual reservoir bed surveys should be performed on all HPPs; (ii) Annual grain-size distribution of BL should be performed on all HPPs; (iii) Establishment of sediment quality monitoring system of sedimentation material; (iv) Data should be stored in a dedicated database.

Proposal 9: Improvement of soil erosion monitoring

Some useful information is becoming available recently (only in SI). The following improvements are recommended: (i) Production of soil erosion maps on the entire basin; (ii) Regular terrain surveys are recommended; (iii) Regular update of soil erosion maps is recommended; (iv) Data and maps should be available on-line.

Proposal 10: Improvements in sediment quality monitoring

Regular sediment quality monitoring system according to RBMP is established in some states (SI, HR, RS), while in other parts the monitoring it is not present (BA). The following improvements are recommended: (i) Establishment of sediment quality monitoring system in BA; (ii) Harmonisation of monitoring programme and parameters among the states; (iii) Common monitoring of the states

on the joint profiles; (iv) The monitoring data and reports should be available on-line.

5. Conclusions

The transport of water and sediment is an essential component of a natural hydro-morphological regime in a catchment. As part of the update of the Danube RBMP 2021, sediment balance alteration was identified as a new sub-theme of the »Hydromorphological alterations«, which demonstrates that an effective management of sediment transport is increasingly important from an economic, social and ecological perspective. In the Sava River Basin Management Plan the quantity and quality aspects of sediment has been addressed as the issue which should be included in the RBM planning cycles and eventually reconsidered as a significant water management issue. The Sava River and its tributaries have been subject to significant changes in sediment transport and water regime caused by energetics, flood protection, navigation and industry. The consequences are serious for the river, groundwater and bank stability.

The processes controlling sediment transport and sedimentation are dynamic and highly variable, so that the consequences are usually not immediately visible, but worsen over time, and subsequent remediation is time-consuming and very costly.

Therefore, effective sediment management must be site-specific, starting at the level of each significant pressure and understanding the dominant spatial and temporal processes operating by the pressures at the basin-wide level. A balanced sediment regime also allows for the long-term provision of suitable habitat for type-specific aquatic communities and water-dependent terrestrial ecosystems.

The development of the Sediment Management Plan for the Sava River Basin is urgently

needed to develop sustainable water management strategies and achieve good water status. In developing and implementing the Sava SMP development and implementation, a stepwise approach is recommended initiating with filling of the information and knowledge gaps before developing sediment management measures and strategies.

REFERENCES

- [1] Status on Sediment Management in Republic of Slovenia
- [2] Status on Sediment Management in Republic of Croatia
- [3] Status on Sediment Management in Bosnia and Herzegovina
- [4] Status on Sediment Management in Republic of Serbia

Analiza kiša kratkog trajanja sa osvrtom na utjecaj klimatskih promjena u Sarajevu i Mostaru – ITP dijagram

/

Analysis of short-term rain with reference to the impact of climate change in Sarajevo and Mostar - ITP diagram

Nino Rimac, dipl.inž.

FHMZ
Bardakčije 12
nino.rimac@fhmzbih.gov.ba

Almir Bijedić, dipl.inž.

FHMZ
Bardakčije 12
almir.bijedic@fhmzbih.gov.ba

Azra Babić, hidromet.teh.

FHMZ
Bardakčije 12
azra.babic@fhmzbih.gov.ba

MSc. Esena Kupusović, dipl.inž.

FHMZ
Bardakčije 12
esena.kupusovic@fhmzbih.gov.ba

U inženjerskoj praksi poznavanje karakteristika kratkotrajnih kiša jakog intenziteta je od velikog značaja i predstavlja osnovu za projektovanje i izgradnju sistema za odvodnju oborinskih voda iz naselja, sa saobraćajnica, poljoprivrednog zemljišta, dimenzioniranje različitih hidrotehničkih objekata, retenzija za prihvatanje velikih voda itd..

Aktuelne, kiše kratkog trajanja, izražene kroz dijagrame ITP (intenzitet-trajanje-povratni period) su rađene 1984 g. Klimatske promjene, prije svega u 21. vijeku, se manifestuju kroz promjenu režima padavina, koji uključuje i kiše kratkog trajanja. Analizirane su dvije različite klimatske zone mediteranska (Mostar) i kontinentalna (Sarajevo) na području FBiH.

Analizom je obuhvaćena metodologija izrade inoviranih ITP dijagrama, njihov grafički prikaz, analiza utjecaja klimatskih promjena kao i promjena ITP dijagrama.

Ključne riječi

ITP dijagram, kiše kratkog trajanja, klimatske promjene

In engineering practice, knowledge of the characteristics of short-term rains of high intensity is of great importance and is the basis for designing and building a system for drainage of rainwater from settlements, roads, agricultural land, sizing of various hydraulic structures, retention for receiving high waters, etc ..

Current, short-term rains, expressed through ITP (intensity-duration-return period) diagrams were made back in 1984. Climate change, especially in the 21st century, is manifested through a change in precipitation regime, which includes short-term rains. Two different climate zones, mediterranean (Mostar) and continental (Sarajevo) in the FBiH, were analyzed.

The analysis includes the methodology of making updated diagrams, their graphical presentation, analysis of the impact of climate change and changes in ITP diagrams.

Key words

ITP diagram, short-term rains, climate change

U inženjerskoj praksi poznavanje karakteristika kratkotrajnih kiša jakog intenziteta je od velikog značaja i predstavlja osnovu za projektovanje i izgradnju sistema za odvodnju oborinskih voda iz naselja, saobraćajnica, poljoprivrednog zemljišta, dimenzioniranje različitih hidrotehničkih objekata, retenzija za prihvatanje velikih voda itd..

Klimatske promjene i promjene režima kiša u posljednje četiri decenije nametnuli su potrebu za izradom nove analize kiša kratkog trajanja, sa ciljem relevantnijeg dimenzioniranja hidrotehničkih objekata, prije svega odvodnje.

Preciznije, u ovom radu je izvršeno inoviranje ITP (Intenzitet - Trajanje - Povratni period) dijagrama sa podacima iz, prije svega, 21. vijeka (kada se značajnije i registriraju klimatske promjene), a sve kako bi se sagledale promjene u kišama kratkog trajanja izražene kroz ITP dijagrame koji su u upotrebi još od 1984 g godine.

Treba napomenuti da su ITP dijagrami za Mostar i Sarajevo publikovani kroz rad: **“ANALIZA KIŠA KRATKOG TRAJANJA ZA POTREBE DEFINIRANJA OTICANJA SA URBANIH POVRŠINA”** (Zavod za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu, Husno Hrelja, decembar 1984 g.).^(6.)

Za analizu u ovom radu su odabrani Mostar (područje mediteranske klime) i Sarajevo (područje kontinentalne klime).

Ulazni podaci

Osnovne novo-pripremljene podloge o kišama kratkog trajanja su podaci osmatranja na kišomjernim stanicama sa ombrografom (pluviografom), kao i automatskih meteoroloških stanica (MS).

Ombrograf ili pluviograf je uređaj za stalno bilježenje trajanja i intenziteta kiše putem pisača na traku. (Slika 1)

Automatske padavinske stanice također služe za kontinuirano mjerenje kiše, izmjereni podaci u digitalnom obliku se sa stanice šalju u odgovarajuće software-e i baze podataka na dalju obradu (Slika 3).

Podaci su dobijeni obradom zapisa sa ombrografskih traka, digitalizacijom i organizacijom u baze podataka kako bi se omogućila efikasna statistička analiza.

Korištenje ombrografa tokom godine je vremenski ograničeno od aprila do oktobra na kontinentalnom klimatskom području. Obzirom da su kiše kratkog trajanja posljedica snažnih konvektivnih procesa u atmosferi koji su na kontinentalnom području uglavnom ograničeni na topliji dio godine nedostatak podataka za razdoblje od oktobra do aprila na meteorološkoj stanici Sarajevo nije značajan za proračun.

Na MS Mostar, koja klimatološki pripada mediteranskoj klimi, ombrograf je u funkciji cijelu godinu.

Pored ombrografskih traka korišteni su i podaci sa automatskih meteoroloških stanica koje su upotpunile nizove podataka i omogućile kontrolu podataka.

Lokalitet	Period obrade	Ukupno godina
MS MOSTAR	1983-2016 g., sa prekidima (1958-1982 g. iz rada od 1984. g.)	29
MS SARAJEVO	1990-2016 g. (1950-1982 g. iz rada od 1984. g.)	27

Tabela 1. Usvojeni periodi za proračune

Ulazni podaci su pripremani u 2017/2018 godini, što je razlog za nizove podataka do 2016 godine.

Napomena:

U publikaciji iz 1984. godine, izvršena je analiza kiša samo do povratnog perioda 100 godina. Međutim, klimatske promjene i promjene režima padavina, te novi projektantski zahtjevi su nametnuli potrebu za proširenjem povratnog perioda kiša na „maksimalno vjerovatne padavine“. Tako su u ovom radu analizom obuhvaćeni i rangovi pojava za, 500, 1000 i 10.000 godina. Također su kroz ITP dijagrame, proračunate i kiše trajanja 1 – 24 sata. (često potrebne u inženjerskoj praksi).

1. Metodologija rada

Obzirom da je publikacija iz 1984 g. urađena prema najvišim hidrološkim standardima glede metodologije rada, neke usvojene postavke tada, će biti iskorištene i u ovom radu, pogotovo što je većina postavki iz 1984. g. potvrđena i u sada izvršenim analizama.

1.1. Ulazni podaci o padavinama

Priprema podataka o padavinama za MS MOSTAR I MS SARAJEVO je jedna od ključnih aktivnosti koja se morala provesti konzistentno i detaljno.

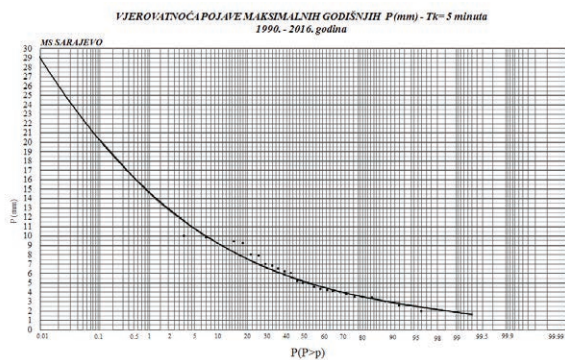
- ▶ Gumbelova
- ▶ Freshet
- ▶ Pearson 3
- ▶ Log Pearson 3

Analiza ulaznih podataka o padavinama je pokazala da se empirijskim uzorcima najbolje prilagođava (prema χ^2 testu i testu Kolmogorova) teorijska funkcija raspodjele Log Pearson 3 pa su vrijednosti te raspodjele i usvojene za trajanja kiša do 60 minuta. (3.)

Do istog zaključka se došlo i u publikaciji iz 1984 godine.

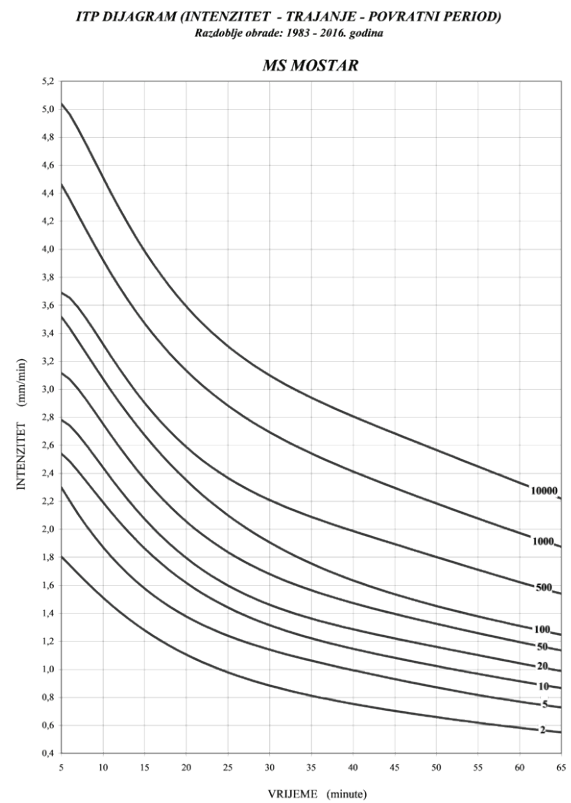
Kada su u pitanju kiše od 24 sata i „sličnog“ trajanja usvojena je teorijska raspodjela Freshet jer je to preporuka Svjetske meteorološke organizacije (WMO). (7)

Primjer dijagrama empirijske i teorijske vjerovatnoće dat je na Slici 4:

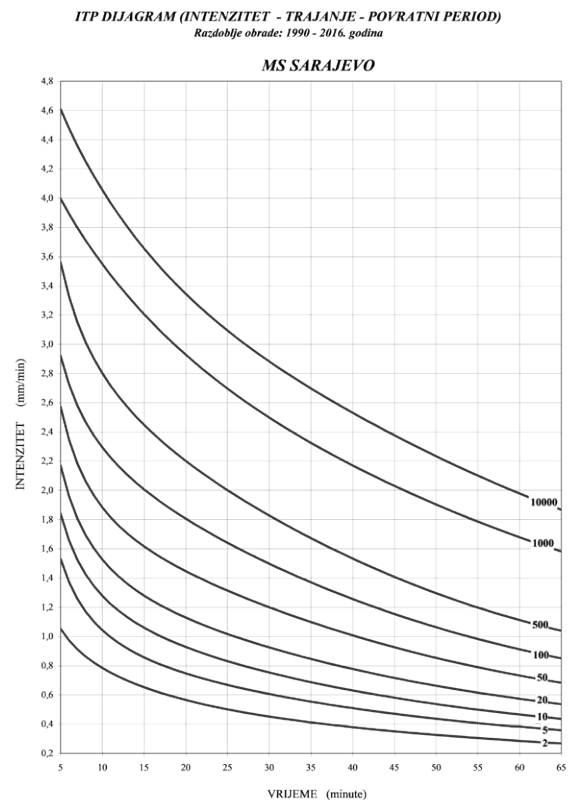


Slika 4. Vjerovatnoća pojave max godišnjih P(mm) - $T_k=5$ minuta (1990-2016. g.) za MS Sarajevo

Inovirani ITP (intenzitet: mm/min. – trajanje: minuta/sati – povratni period: godina) dijagrami, sa podacima, značajnim dijelom iz 21. vijeka za Mostar i Sarajevo su predstavljeni grafički, za povratne periode: 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 10.000 godina (Slika 5 i 6)



Slika 5. Mostar, ITP dijagram (intenzitet-trajanje-povratni period (1983-2016.g.)



Slika 6. Sarajevo, ITP dijagram (intenzitet-trajanje-povratni period (1990-2016.g.)

2. Analiza promjene količina padavina u Mostaru i Sarajevu

2.1. Uvod

Klimatske promjene su sve aktuelnija tema jer ekstremne vremenske pojave poput poplava, suša, oluja, erozija tla, visokih temperatura, požara...pogađaju gotovo sve dijelove planete pa tako i našu zemlju. Neke od najznačajnijih promjena koje nas očekuju u narednim decenijama, a prema rezultatima različitih klimatoloških modela (scenariji IPCC AR5) vezano za padavine su:

- ▶ promjene u godišnjoj sumi padavina, očekuje se blagi porast količine padavina na višim nadmorskim visinama i smanjenje na nižim, posebice na području Mediterana
- ▶ intenziviranje vodnog ciklusa što će za posljedicu imati učestalije pojave oluja, padavina jakog intenziteta, poplave ali i učestalije suše
- ▶ smanjenje prosječnog trajanja i visine sniježnog pokrivača, što ne isključuje pojavu ekstrema u visini
- ▶ učestalije urbane poplave kao posljedica kiša jakog intenziteta i kratkog trajanja

Ovo su samo neki od rezultata klimatoloških modela vezano za padavine, što nas očekuje u budućnosti, međutim promjene su vidljive i u sadašnjosti. U nastavku, prikazana je analiza padavina za dva klimatološka područja na području FBiH:

- ▶ Mediteranska klima – Mostar
- ▶ Umjereno-kontinentalna klima – Sarajevo

2.1.1. Mostar

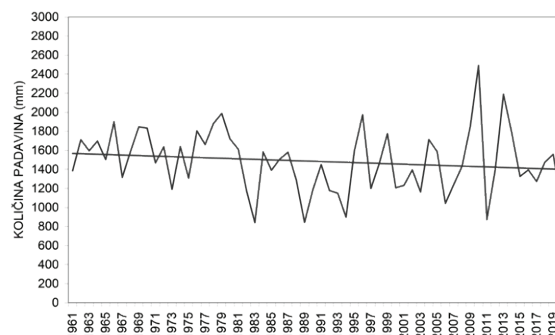
Godišnje sume padavina

Godišnje sume padavina iz razdoblja 1991-2020 godina bilježe blagi pad od 5 % u odnosu na razdoblje 1961-1990. godina a broj dana sa padavinama (većim od 1 mm) također bilježi pad od 6%. Iz dijagrama se može jasno vidjeti da su odstupanja od srednje vrijednosti izraženija u „novijem“ nizu 1991-2020. godina (Slika 7)

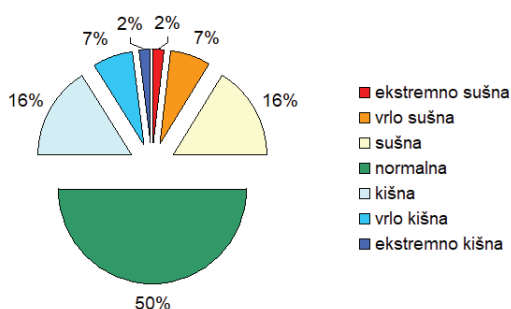
Modifikovana Conrad – Chapman-ova metodologija može biti veoma korisna u prikazu promjena odstupanja novog niza 1991-2020 (niz koji uključuje i „klimatske promjene“), u odnosu na temeljni niz 1961-1990. godina.

Usvajajući Conrad-Chapman-ovu metodologiju, za svaki od tretiranih parametara su definirane granične vrijednosti percentila za temeljni niz 1961-1990. godina. Na taj način su dobivene odgovarajuće klase koje su korištene za procjenu niza od 1991 do 2020. godine. Karakteristične vrijednosti padavina novog niza svih tretiranih parametara su svrstane u odgovarajuću klasu i na taj način je definirano odstupanje u odnosu na temeljni niz (Slika 8).

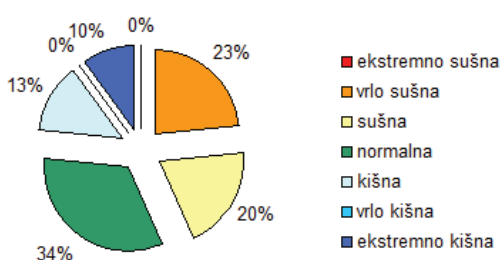
Analiza homogenosti vremenskih serija je pokazala da su serije godišnjih suma padavina homogene što znači da pripadaju istoj populaciji. ^(4.)



Slika 7. MOSTAR - godišnje sume padavina (mm)



Slika 8. Grafička prezentacija Conrad-Chapmanovih klasa



Slika 9. Grafički prikaz godišnjih suma padavina (1991-2020.g) koje ulaze u odgovarajuće Conrad-Chapmanove klase (%)

Broj godina koje ulaze u klasu kišnog je ostao približno isti u odnosu na temeljni niz 1961-1990. (23%), ali je došlo do značajnog povećanja broja sušnih godina (43%) a samim tim i smanjenja broja prosječnih godina.

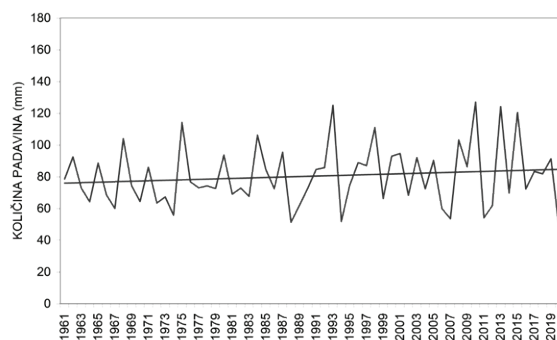
Maksimalne dnevne sume padavina

Jedna od osnovnih značajki klimatskih promjena vezano za padavine je i povećanje intenziteta padavina koje bi se trebalo odraziti, između ostalog i na porast maksimalnih dnevnih suma padavina.

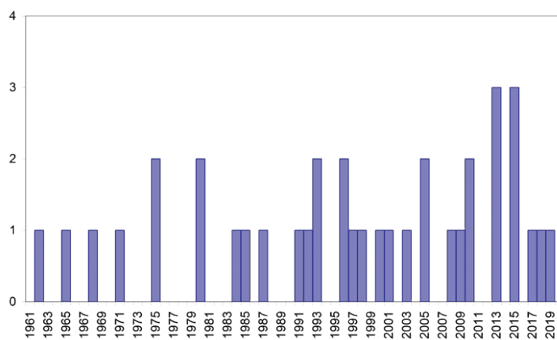
Na dijagramu maksimalnih godišnjih 24-časovnih padavina se jasno uočava trend porasta, a povećanje srednje vrijednosti dnevnih padavina „novog niza“ (koji iznosi 84 mm), u odnosu na reporni gdje je prosječna maksimalna dnevna padavina iznosila 77 mm je 10% (Slika 10).

Analiza homogenosti tretiranih vremenskih serija kiša trajanja 24 sata je pokazala da su serije homogene, odnosno pripadaju istoj populaciji.

Urađena je i analiza broja dana sa maksimalnim godišnjim 24-časovnim padavinama većim od 80 mm, što predstavlja prosječnu vrijednost maksimalnih dnevnih padavina za cijeli niz (Slika 11).



Slika 10. MOSTAR – maksimalne dnevne sume padavina

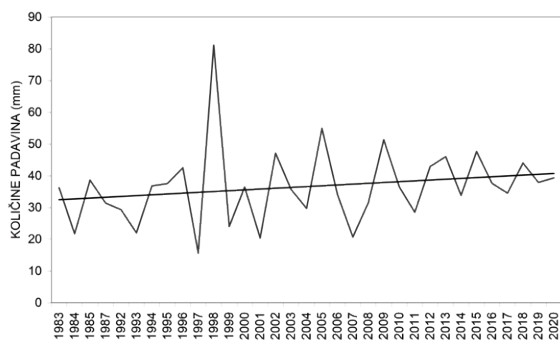


Slika 11. Mostar – čestina pojave dnevnih suma padavina većih od 80 mm

U nizu 1961-1990. godina 11 puta su registrirane padavine veće od 80 mm, dok u nizu 1991-2020. godina taj broj porastao na 26, što predstavlja povećanje od 126%. Ekstremne dnevne padavine se, prema prikazanom dijagramu, dešavaju sve češće, a taj trend, prema klimatološkim modelima će se i nastaviti.

Satne vrijednosti padavina

Na Slici 12 prikazan je dijagram maksimalnih satnih vrijednosti padavina (kiše kratkog trajanja) za MS Mostar, razdoblje 1983-2020. god.



Slika 12. Mostar – satne vrijednosti padavina (mm)

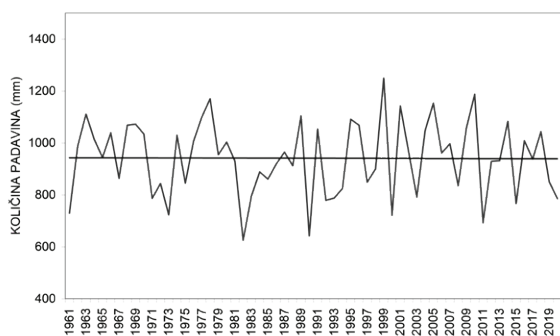
Na žalost nije se raspolagalo sa maksimalnim satnim vrijednostima padavina za Mostar za razdoblje prije 1983. godine, ali i iz proloženog dijagrama se može vidjeti da se i tu bilježi trend porasta.

Na području mediteranske klime u FBiH, mjerodavna je meteorološka stanica Mostar, prema svemu navedenom uočava se trend povećanja maksimalnih dnevnih i satnih količina padavina kao i broj dana sa ekstremnim padavinama.

2.1.2. Sarajevo

Godišnje sume padavina

Godišnje sume padavina iz razdoblja 1991-2020 godina bilježe vrlo blagi porast od 2 % u odnosu na razdoblje temeljnog niza 1961-1990. godina, a broj dana sa padavinama (većim od 1 mm) je ostao isti.

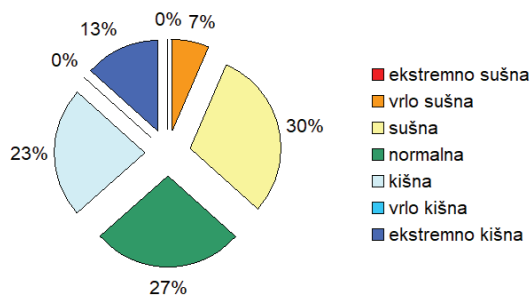


Slika 13. Sarajevo – godišnje sume padavina

Analiza homogenosti vremenskih serija je

pokazala da su serije homogene i pripadaju istoj populaciji.

Modifikovana Conrad-Chapman-ova metodologija može biti veoma korisna u prikazu promjena odstupanja novog niza 1991-2020 u odnosu na temeljni niz (1961-1990. godina).

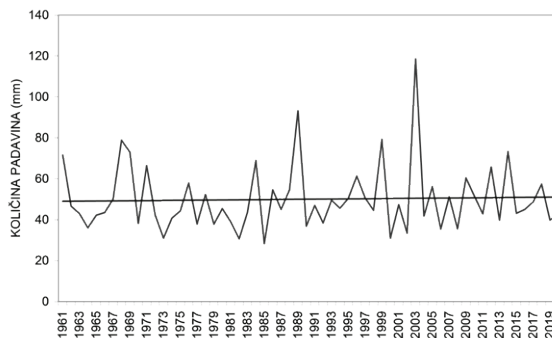


Slika 14. Grafički prikaz godišnjih suma padavina (1991-2020.g) koje ulaze u odgovarajuće Conrad-Chapmanove klase (%)

Iz dijagrama je vidljivo da je u novom periodu došlo do smanjenja broja „normalnih“ (prosječnih) godina (27%), dok se broj godina koji odstupaju u klase kišno i sušno povećao 36% i 37% respektivno (Slika14). Ova ocjena se odnosi na temeljni niz 1961-1990. godina.

Maksimalne dnevne sume padavina

Izvršena je i analiza maksimalnih dnevnih suma padavina a dijagram je prikazan na slici 15:

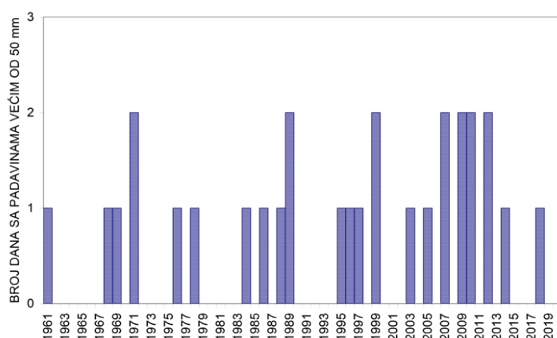


Slika 15. Sarajevo – maksimalne dnevne sume padavina

Nema značajnog trenda porasta maksimalnih dnevnih količina padavina (u odnosu

na prosjeke iz niza 1961-1990. i 1991-2020. godina). Povećanje iznosi 4%.

Analiza homogenosti vremenskih serija 24-satnih padavina je pokazala da su serije homogene i pripadaju istoj populaciji.

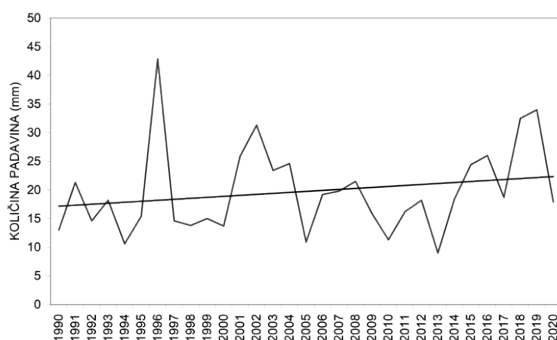


Slika 16. Sarajevo – čestina pojave dnevnih suma padavina većih od 80 mm

U „novijem“ nizu je došlo do povećanja broja dana sa ekstremnim dnevnim padavinama, povećanje je 42%, dakle znatno manje nego što je to slučaj u Mostaru.

Satne vrijednosti padavina

Na slici 17 je dat dijagram satnih vrijednosti padavina:



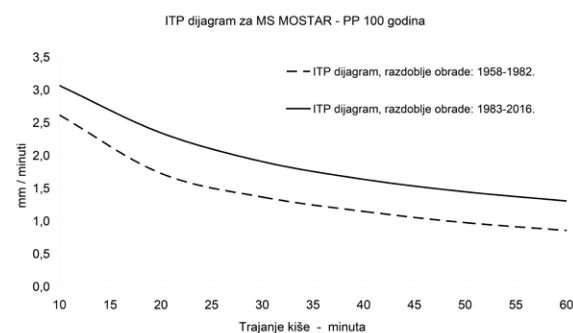
Slika 17. Sarajevo – satne vrijednosti padavina (mm)

Generalno, klimatske promjene vezano za padavine na području Sarajeva (mjerodavno za umjereno-kontinentalnu klimu) nisu toliko izražene kao na području mediteranske klime.

3. Promjena režima kiša kratkog trajanja (izraženo kroz promjenu ITP dijagrama)

3.1. Područje Mediteranske klime – MS Mostar

Na dijagramu (Slika 18) ^(1.)^(2.) dat je uporedni prikaz vrijednosti intenziteta kiša kratkog trajanja povratnog perioda “jednom u 100 godina” za ITP dijagrame sa razdobljima obrade 1958-1982. i 1983-2016. godina.



Slika 18. ITP dijagram – Mostar PP100 godina

Iz dijagrama se može zaključiti da su razlike između dva prikazana ITP dijagrama značajne, a numeričke vrijednosti apsolutnih vrijednosti razlika i razlika u procentima za različita trajanja su date u Tabeli 3.

minuta	mm/ min	mm/ min	razlika	razlika
	1958- 1982	1983- 2016		%
10	2.62	3.07	1.17	17
20	1.73	2.35	1.36	36
30	1.37	1.91	1.39	39
40	1.15	1.64	1.43	43
50	0.98	1.45	1.48	48
60	0.86	1.31	1.52	52

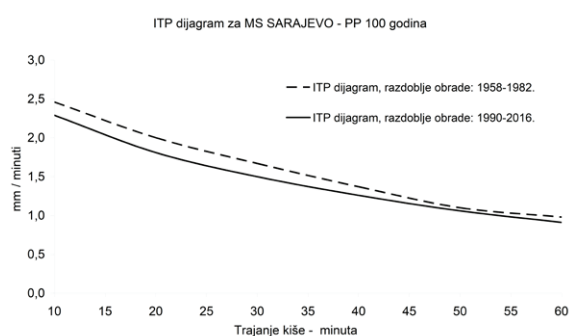
Tabela 3. Numeričke razlike između ITP vrijednosti sa dijagrama (PP 100 godina), Mostar

Kao primjer naveden je povratni period $T = 100$ godina koji je u inženjerskoj praksi najčešće

korišten, no i za ostale rangove pojave važi ista konstatacija: da su vrijednosti iz novog niza značajno veće za mediteransko područje.

3.2. Područje umjereno-kontinentalne klime – MS Sarajevo

Uporedni prikaz vrijednosti intenziteta kiša kratkog trajanja povratnog perioda "jednom u 100 godina" za ITP dijagram razdoblja obrade 1958-1982. i 1990-2016. godina je prikazan na Slici 19.



Slika 19. ITP dijagram – Sarajevo PP100 godina

Razlika između dva ITP dijagrama različitih razdoblja obrade nije značajna. Numeričke vrijednosti apsolutnih razlika i razlika u % su date u Tabeli 4.

minuta	mm/ min	mm/ min	razlika	razlika
	1958- 1982	1990- 2016		%
10	2.46	2.29	0.93	-7
20	2	1.81	0.91	-10
30	1.67	1.5	0.90	-10
40	1.37	1.26	0.92	-8
50	1.1	1.06	0.96	-4
60	0.98	0.912	0.93	-7

Tabela 4. Numeričke razlike između ITP vrijednosti sa dijagrama (PP 100 godina), Sarajevo

Analizirani su ostali rangovi pojave pojave navedeni u pasusu 2.3., a pokazalo se da vrijedi ista konstatacija kao i za primjer na slici 19: nema značajne razlike u vrijednostima ITP dijagrama iz razdoblja obrade 1958-1982. i 1990-2016. godina.

4. Zaključak

Promjene u količinama kiša, provedene kroz analizu pod tačkom 3. , dopuštaju razumnu pretpostavku da se slično dešava i sa kišama kratkog trajanja T= 5 - 60 minuta, pa i koincidiraju sa niže navedenim konstatacijama. Dakle:

Značajne su razlike u vrijednostima kiša kratkog trajanja u Mostaru (područje mediteranske klime) noveliranog ITP dijagrama (1983-2016.) u odnosu na ITP dijagram iz 1984. godine (1958-1982.). Razlike se kreću od 17 - 52 % u zavisnosti od trajanja kiše, što bi se u konačnici moglo odraziti na dimenzioniranje budućih hidrotehničkih objekata.

LITERATURA

- [1] Primjena metoda matematske statistike u hidrologiji/Slavoljub Jovanović, Beograd 1977 g.
- [2] Hidrologija II dio/Stevan J. Prohaska
- [3] Vjerovatnoća i statistika u hidrologiji/Husno Hrelja, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu
- [4] Meteorološka statistika/D. Jovanović.....
- [5] Hidrologija/Ranko Žugaj, Rudarsko-Geološki-Naftni fakultet Zagreb, 2015 g.
- [6] Analiza kiša kratkog trajanja za potrebe definiranja oticanja sa urbanih površina/Husno Hrelja, Zavod za hidrotehniku građevinskog fakulteta u Sarajevu, decembar 1984 g.).
- [7] PREPORUKE WMO/Svjetska meteorološka organizacija
- [8] Ombrografske trake sa meteoroloških stanica Mostar i Sarajevo/Federalni hidrometeorološki zavod Sarajevo
- [9] PODACI O PADAVINAMA SA METEOROLOŠKIH STANICA MOSTAR I SARAJEVO/Federalni hidrometeorološki zavod, Sarajevo

Obskrba pitkom vodom
pod uticajem suše i
klimatskih promjena:
Centar grada Kahramanmaraş
kao studija slučaja

/

Dinking water supply
under drought and climate
change impacts:
Kahramanmaraş City Centre
as a case study

Mustafa Kemal Türkeri, Civil Engineer, M.Sc.

DOLSAR Engineering Inc. Co.

Ankara, Turkey

mturkeri@dolsar.com.tr

Prikazana studija je primjer za utvrđivanje rizika od suše i utjecaja klimatskih promjena na opskrbu pitkom vodom. Projektno područje se sastoji od centra grada Kahramanmaraş, koji se nalazi na jugoistoku Turske. U studiji su procijenjeni utjecaji suše i klimatskih promjena na jednu aktivnu i četiri planirane brane koje opskrbljuju središte grada pitkom vodom. Prvi korak studije uključuje analizu učestalosti prošlih suša kako bi se procijenio hidrološki rizik od suše u akumulacijskim jezerima brana. Utjecaji suša od 2, 5, 10, 25 i 100 godina na prirodne tokove proučavanih brana procijenjeni su na način temeljen na riziku. Godišnji omjeri smanjenja prirodnih protoka za svaku sušu korišteni su kao ulazni podaci za studije rada akumulacije i određeni su utjecaji suša na akumulacije brana. Osim rizika od suše, drugi korak ove studije uključuje moguće utjecaje klimatskih promjena na hidrometeorološke procese. Smanjenje prirodnog protoka zbog utjecaja klimatskih promjena utvrđeno je usrednjavanjem scenarija RCP 4.5 i RCP 8.5 tri različita smanjena modela CMIP5 (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR i CNRM-CM5.1) i najpessimističniji pad prosjeka scenarija korišten je za procjenu utjecaja klimatskih promjena na dotoke sve četiri akumulacije brana kako bi se osigurala procjena najgoreg mogućeg stanja. Na kraju, procijenjena je pokrivenost ponude i potražnje za gradsko središte Kahramanmaraş pod uticajem suše i klimatskih promjena te je analizirana primjerenost postojećih i potencijalnih vodnih resursa. Kao rezultat studije, kako bi se povećala otpornost na sušu i uticaj klimatskih promjena na resurse pitke vode, dane su neke preporuke za područje istraživanja.

Ključne riječi

Klimatske promjene, rizik od suše, opskrba pitkom vodom, pokrivenost potražnje

The presented study is an example to determine the drought risks and climate change impacts on drinking water supply. The project area comprises of Kahramanmaraş City Centre, located in the southeast of Turkey. In the study, impacts of drought and climate change to one in operation and four planned dams, which supply drinking water to the city centre, were assessed. The first step of the study includes a frequency analysis of past drought events to assess the hydrological drought risk in the dam reservoirs. Impacts of 2, 5, 10, 25 and 100-years return period drought events on the natural flows of studied dams were assessed in a risk-based manner. Annual decrease ratios of natural flows for each drought event were used as input data for reservoir operation studies and the impacts of droughts to dam reservoirs were determined. In addition to the drought risks, the second step of this study includes possible impacts of climate change on the hydrometeorological processes.

Natural flow decrease due to climate change impacts were determined by averaging RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios of three different downscaled CMIP5 models (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR and CNRM-CM5.1) and the most pessimistic drop in the scenario averages was used to assess the impact of climate change on the inflows of all four dam reservoirs to ensure that the worst possible condition is assessed. Lastly, supply-demand coverage for Kahramanmaraş City Centre under drought and climate change impacts was assessed and adequacy of existing and potential water resources was analysed. As a result of the study, in order to increase the resilience to drought and climate change impacts on drinking water resources, some recommendations were made for the study area.

Key words

Climate change, drought risk, drinking water supply, demand coverage

The concept of climate change refers to the regional changes in climate conditions due to global anthropogenic effects (human effects). These anthropogenic effects have been realized through factors such as the increase in the emission of greenhouse gases as a result of technical and technological developments, the increase in intensive aerosol use and air pollution, changes in land use (expansion of residential areas and reduction of forest areas) since the industrial revolution.

In particular, the increase in the emission of greenhouse gases causes the radiation from the sun to be trapped in the atmosphere [1, 2]. Although there is a change in atmospheric dynamics as a result of such human-induced effects, the impacts of climate change in many regions of the world are observed in negative ways. These impacts include increase in global temperature, increase in extreme weather events in the atmosphere (increase in temperature and precipitation anomalies), melting of polar glaciers due to the increase in global temperature, and the rise in average sea level and increase in the frequency of dry periods [3].

Global temperature measured in the 2001-2020 period is 0.99°C higher than the 1850-1900 period, which reflects the difference between the pre-industrial period and today [4]. Global warming, due to increasing greenhouse gas emissions, has led to

changes in the potential of water resources in many parts of the world. Global and regional hydrological cycles have been affected by climate change. Today, these effects have begun to be felt intensely.

To determine future predictions regarding climate change, periodical assessment reports are published by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). In the content of these reports, scenarios and predictions for climate change in terms of emission and socio-economic aspects are pointed out, and suggestions are made for adaptation to climate change. The last of these reports (6th Assessment Report; AR6) is still in the writing phase and planned to be completed at the end of 2022. However, 1st Working Group Report, which is the most important content of AR6, was published [4] and opened for peer review in August 2021.

Global climate projections produced within the scope of the 6th Phase of the Coupled Model Comparison Project (CMIP6) are used in AR6. According to the new climate change scenarios, an extreme temperature event, which was seen once in a decade in the 1850-1900 period, is seen 2.8 times today, while this event is 4.1 times if the global surface temperature increase reaches 1.5°C in 2100, and 5.6 times if global temperature increase reaches 2°C in 2100. Similarly, a drought event, which was seen once in a decade during the 1850-1900 period, is seen 1.7 times today. It is predicted that a drought event, which was seen once in a decade, will occur 2 times if global surface temperature increase reaches 1.5°C in 2100, and 2.4 times if global surface temperature increase reaches 2°C in 2100 [4]. Accordingly, the number of people affected by severe droughts, which was 350 million as a result of 1.5°C increase in global surface temperature in 2100, will increase to 410 million at 2°C increase in global surface temperature in 2100 [5].

However, it is important to note that above-mentioned assessments were made only if the world reaches the targets of Paris Agreement completely, which is signed in 2015. If the current emission rate continues in the future the outcomes of the climate change will be much worse. One of the outcomes of climate change is drought events with increasing lengths and severities.

Therefore, assessment of possible drought impacts is a vital topic for human life because the drinking water supply is also directly affected by the increasing length and severity of the drought events. Therefore, it is very important to understand the possible change in drought risk and take measures in order to mitigate the possible drought impacts on drinking water sources.

1. Study area and data

This study includes an example climate change and drought impact assessment study which focuses on drinking water supply. The study area is the city centre of Kahramanmaraş province, which is located in the southwest of Turkey (Ceyhan Basin), on the border of the Mediterranean Region with the Central, Eastern and Southeastern Anatolia regions (Figure 1).

The main climatic characteristic of Kahramanmaraş province is the Mediterranean climate, which is hot in summer seasons and warm in winter seasons. The average annual total precipitation is around 550 mm and the annual average temperature is around 12.8°C for the reference period of 1980-2018. The impacts of climate change in the province of Kahramanmaraş manifest themselves in the form of temperature increase and precipitation decrease. This situation indicates an increase in the frequency and duration of dry periods in the future.

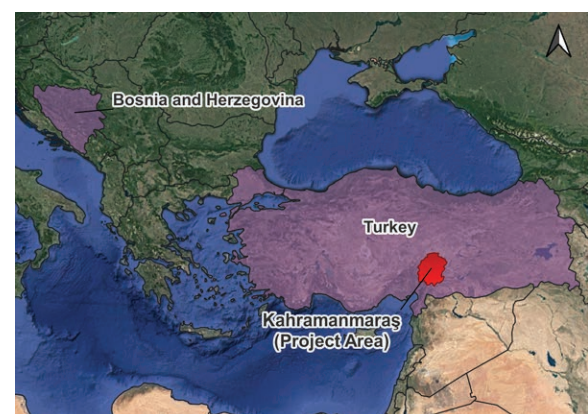


Figure 1. Project area

The total population of Kahramanmaraş is 1,168,163 people in 2020 and 532,776 people (46%) live in the city centre and get drinking water services from the Metropolitan Municipality of Kahramanmaraş directly. In the future, it is expected that the population of Kahramanmaraş city centre will reach

944,837 people (with a 78% increase) in 2050. Corresponding drinking water demand of the population is calculated as 75.98 hm³/year in 2020 and 100.59 hm³/year in 2050. However, the current loss-leakage rate (non-revenue water) is very high (49%) and it is assumed that loss-leakage rate will gradually reduce until 2050. If not, drinking water demand increases to 157.07 hm³/year in 2050, which is almost 50% more of the projected demand (Table 1).

Years	The Condition of Keeping the Loss-Leakage Rate Constant		The Condition of Gradual Reduction of Loss-Leakage Rate	
	Loss-Leakage Rate (%)	Water Demand (hm ³ /year)	Loss-Leakage Rate (%)	Water Demand (hm ³ /year)
2020	49	75.98	49	75.98
2025		88.06	44	80.53
2030		101.00	39	85.07
2035		114.57	34	89.45
2040		128.58	30	93.56
2045		142.83	25	97.30
2050		157.07	20	100.59

Table 1. Drinking water demands in Kahramanmaraş city centre under the conditions of keeping the loss-leakage rate constant and gradually decreasing the loss-leakage rate

The main drinking water supplies of the city centre are two springs (Pınarbaşı Spring – 15.77 hm³/year and Karasu Spring – 47.3 hm³/year) and one dam (Ayvalı Dam – 17.14 hm³/year). In the city, there are also groundwater wells (14.5 hm³/year), which are used as auxiliary water resources. The total available water supply amount is 94.71 hm³/year. For the future, in order to satisfy the drinking water demand of 100.59 hm³/year in 2050, there are four different alternative projects in planning phase. One of them is a groundwater

supply project, Maraş Plain wells – 6.87 hm³/year) and it is under construction. The remaining three are different dam and diversion weir projects. These projects are Bertiz Diversion to Ayvalı Dam (additional 22.8 hm³/year supply), Menzelet Dam (94.67 hm³/year supply) and Çetintepe Dam (48 hm³/year supply) (Table 2). The map of the assessed dams and weirs is given in Figure 2.

Kahramanmaraş City Centre Drinking Water Resources	Drinking Water Supply (hm ³ /year)
Pınarbaşı Spring	15.77
Karasu Spring	47.3
Groundwater Wells	14.5
Ayvalı Dam	17.14
Existing Resources (Total)	94.71
Maraş Plain Groundwater Wells (Under Construction)	6.87
Ayvalı Dam+Bertiz Diversion	39.94
Menzelet Dam	94.67
Çetintepe Dam	48.00

Table 2. Kahramanmaraş drinking water resources and supply potentials

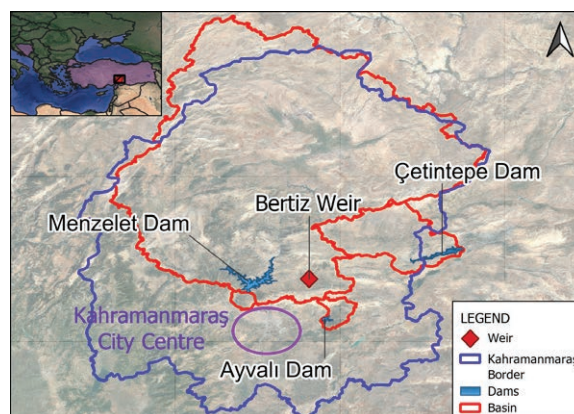


Figure 2. Existing and planned facilities in the project area

For a metropolitan municipality, it is necessary to supply adequate drinking water demand even under the impacts of drought and climate change. Therefore, in this study, the impacts of climate change and possible

droughts on drinking water resources of Kahramanmaraş city centre are assessed.

For this study the most important input data is the climate change projections. Regional climate modelling studies in Turkey are mostly developed with the global circulation models (GCMs) within the scope of the 5th Phase of the Coupled Model Comparison Project (CMIP5) and the most important of these studies is the "Impact of Climate Change on Water Resources Project" [6] carried out by the General Directorate of Water Management (SYGM) which is under the Ministry of Agriculture and Forestry of Turkey. Within the scope of the study of SYGM, climate change projections for many different meteorological parameters were determined for Turkey by utilizing HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR and CNRM-CM 5.1 GCMs selected from the CMIP5 archive. The climate change projections based on representative concentration pathways; RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios which are downscaled to 10x10 km resolution were obtained between 2015-2100. Within the scope of this paper, possible future changes of meteorological parameters were determined through the already available regional climate models of SYGM, and evaluated specifically for Kahramanmaraş, and the possible effects of meteorological changes on surface and groundwater potential were determined.

2. Dry periods and drought analyses

One of the most important outcomes of climate change is drought events with increasing intensity, frequency and duration. In addition to the meteorological and agricultural effects of drought, its hydrological effects may cause future problems, especially in water supply.

In this study, many drought indices which are widely accepted in the international literature

have been studied and especially, hydrological dry periods were evaluated to determine hydrological drought events in the observation period (1980-2018). Accordingly, the results of hydrological drought indices, which determine hydrological drought accurate and reliable, and accepted in the international literature, were interpreted.

The evaluated drought indices include as follows:

- ▶ Standardized Precipitation Index (SPI) [7, 8, 9]
- ▶ Palmer Drought Indices (PDSI and PHDI) [10, 9]
- ▶ Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI) [11]
- ▶ Standardized Runoff Index (SRI) (Shukla & Wood, 2008) [12]

In order to confirm the accuracy of the hydrological drought assessments, the annual total natural inflows of the Menzelet Dam in the 1970-2018 period were also evaluated. The total annual natural inflows of Menzelet Dam and the drought period evaluations made accordingly. To calculate the mean in a non-stationary structure in the graphical content shown in Figure 3, a linear trend equation was formed by the linear regression method. With the created trend equation, an evaluation was made by considering the change of the average over time, and the flows below the trend line were determined as dry periods.

The important periods in which hydrological drought were determined within the provincial borders of Kahramanmaraş are 1971-1974, 1983-1986, 1989-1991, 1994, 2001, 2005-2008, 2014 and 2016-2018 in chronological order.

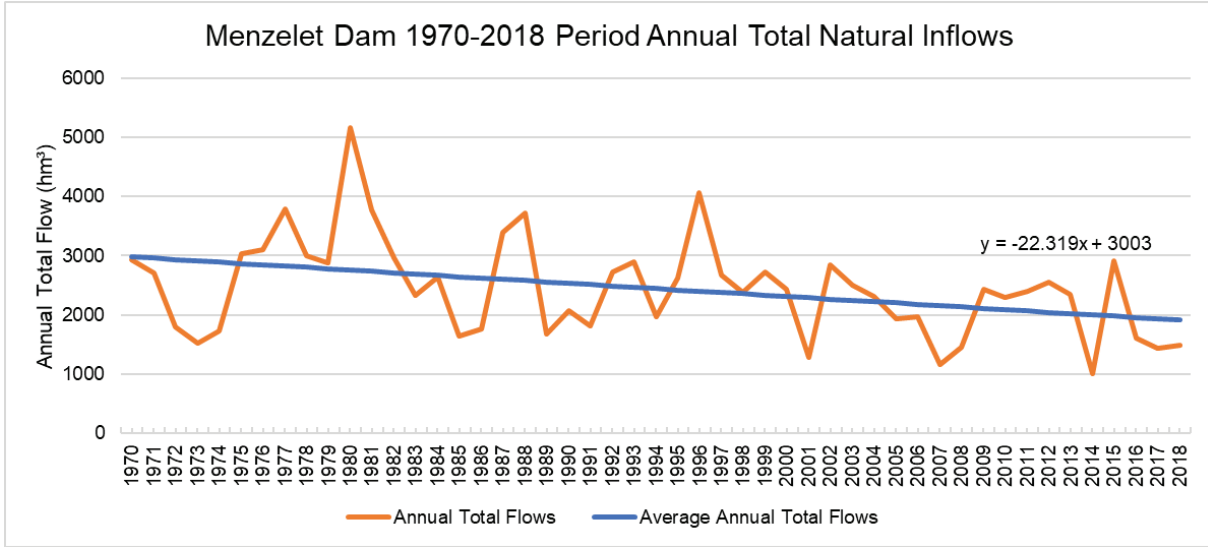


Figure 3. Menzelet Dam's annual total natural inflow flows and evaluation of the difference of hydrological dry periods from the trend

2.1. Evaluation of Drought Risk

Before calculating the climate change impacts on droughts, it is also important to calculate the hydrological drought risks and its outcomes on the drinking water resources.

The general approach in calculating the drought risk is to make use of drought indices. But usage of drought indices to calculate risk requires the decision maker to have knowledge about drought indices. Because of this requirement, calculation and interpretation of drought indices should be performed by those who have the necessary competence and expertise. However, despite all these detailed calculations and analyses, drought indices do not give information to the user about the amount of decreased water potential as a result of drought, but only express how dry or wet the current period is under the specific drought classes.

In order to make sense of the severity of the drought more easily, a physical size is required. For this reason, the evaluation of the drought risk within the scope of this study has been made by using the runs theory for drought risk analyses [13, 14, 15, 16]. With

this method, a time-based risk analysis is provided to determine statistically which recurrence or risk classes a possible cumulative flow deficiency falls into. However, since the parameters used within the scope of the analysis has units, they can be both physically meaningful and can easily reveal a possible drought risk in terms of deficit amounts.

The analysis was carried out for Ayvalı Dam, where drinking water is supplied to Kahramanmaraş, Menzelet Dam, which are evaluated to determine the total surface water potential within the borders of Kahramanmaraş province, and Çetintepe Dam located east of Kahramanmaraş. The natural inflows of four dams were used in the study.

Drought magnitudes of runs theory classify deficit periods in terms of amount and duration, considering all deficit periods detected during the observation period. When making this classification, deficit length (total duration of each dry period), total deficit amount in dry period (cumulative sum of difference from average for each dry period), deficit magnitude in dry periods (value with the greatest difference from average for each dry period - maximum deficiency amount) and

deficit intensity in dry periods (dividing the sum of deficiencies in each dry period by the dry period length) parameters.

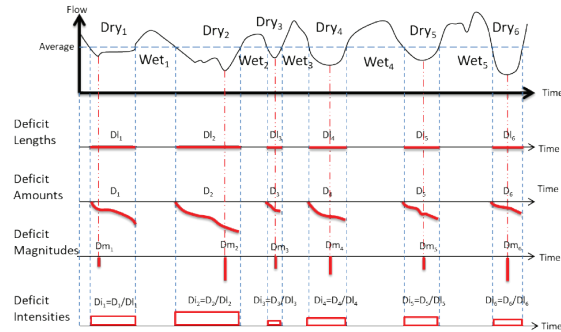


Figure 4. Graphical representation of drought magnitudes

A sample calculation for dry period magnitudes is given in Figure 5 and Figure 6. Annual total natural inflows of Ayvalı Dam were used in the sample calculation. The sample graph given includes the deficit intensity calculation. In the evaluation made with the annual total natural inflow of Ayvalı Dam, 10 dry periods were determined. The dry period duration, deficiency amount, deficiency size and deficiency severity of these dry periods are presented in Figure 5.

After the dry period magnitudes are calculated, a statistical distribution is fit to the dry periods obtained separately by listing each drought magnitude (deficit length, deficit amount, deficit magnitude and deficit intensity). With this process, drought risk is revealed for different risk levels or recurrence intervals. In this study, the normal distribution is used as the distribution. As an example, the graph of the normal distribution for deficiency severity is given in Figure 6. The given graph also shows the calculation of the severity of deficiency with 10% risk (with an exceedance probability of 0.1)

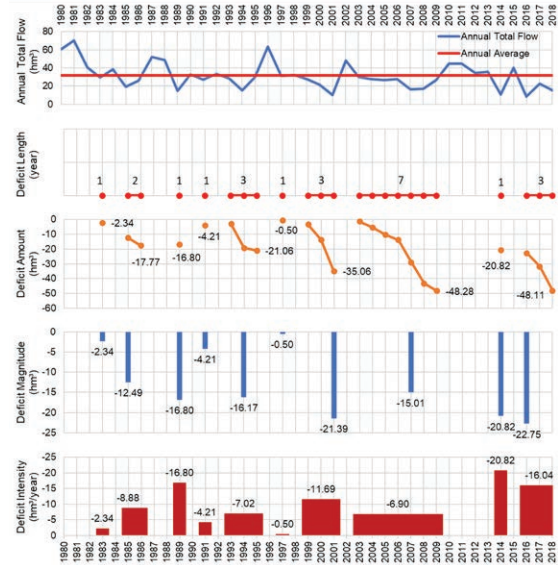


Figure 5. Drought magnitudes calculations for Ayvalı Dam

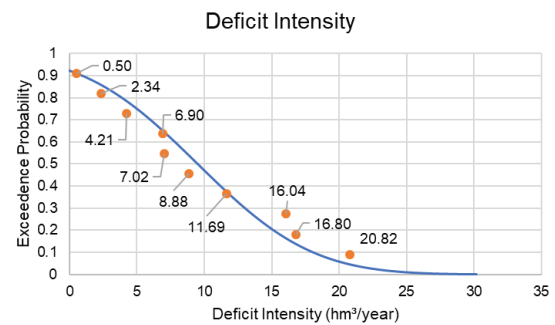


Figure 6. Determination of risks with statistical distribution function

In this study, the variation of the deficit intensity according to the drought risk was evaluated, and it was determined how much the flows could fall below the average in case of a severe drought. As an example of this calculation, the possible decrease in flows in a dry period with 10% risk is determined. For Ayvalı Dam, the amount of deficiency severity in the dry period with 10% risk, calculated in Figure 6, was found to be 18.09 hm³/year. By dividing this value to the annual average total flow (31.66 hm³/year), it is determined how much the flows can decrease at the 10% risk level in a severe dry year. In a dry period with 10% risk, the annual total flows of Ayvalı Dam can decrease by 57% of the average flows.

Similarly, for dry periods at different return periods (2, 5, 10, 25 and 100-years), possible decreases in the natural inflow of the facility during dry periods have been determined for Ayvalı Dam, Menzelet Dam and Çetintepe Dam. The determined dry period risk levels and the amount of reduction according to the corresponding average flow are presented in Table 3.

Risk Level (%)	Return Period (year)	Deficit Intensity (hm ³ /year)	Average Flow (hm ³ /year)	Decrease Ratio (%)
(1)	(2)=1 / (1)	(3)	(4)	(5)= (3)/ (4)
Ayvalı Dam				
50	2	9.52	31,66	30
20	5	15.15		48
10	10	18.09		57
4	25	21.23		67
1	100	25.08		79
Menzelet Dam				
50	2	551.29	2,445,03	23
20	5	791.06		32
10	10	916.39		37
4	25	1,050.04		43
1	100	1,214.04		50
Çetintepe Dam				
50	2	117.69	407,64	29
20	5	161.19		40
10	10	183.92		45
4	25	208.17		51
1	100	237.92		58

Table 3. Possible flow decrease ratios for different risk levels

With Table 3, the different risk levels/recurrence interval of drought intensities are given separately for each facility show the amount of decrease that the natural flow of each facility according to the average flows. The decrease ratio given in column 5 represents the level at which flows can decrease, which will be specific to a single year. For

example, during a severe drought that can occur in Ayvalı Dam for 100 years, the natural inflow flows of Ayvalı Dam may decrease by 79% of the average flow in a 100-years severe drought event.

According to the evaluations, in the event of a drought with 1% risk (100 years return period), it has been determined as there is a possibility of 79% decrease in natural inflows of Ayvalı Dam, %50 decrease in natural inflows of Menzelet Dam and 58% decrease in natural inflows of Çetintepe Dam.

However, this issue should not be considered as an average decrease due to climate change. (Note that the climate change impacts is not included in calculation, only the observed period is used). The values calculated here show the level at which the natural inflows of the facility can decrease in individual years. Considering that the aforementioned facilities have reservoirs (i.e. storage capacity), it should be seen that the decrease determined in the flows is not continuous, but the flows may decrease to these levels as the lowest value during severe drought. Therefore, it is necessary to evaluate according to the results of the operation study carried out in a way that takes these dry periods into account. As a matter of fact, it is seen that the flows may decrease to the levels given in Table 3 during the severe droughts experienced in the past years.

Within the scope of this study, the level where the flows may decrease in the event of a severe drought which is a 100-years return period is reflected to the operation studies. The study was carried out by operating via replacing the inflow amount in the minimum year in operation period with 100-years return period drought inflow amount and accordingly, the sufficiency of the facilities was examined.

3. Future climate projections and possible effects of climate change on water resources

In this chapter the climate change triggered decrease in water resources are assessed. The RCP 4.5 (optimistic) and RCP 8.5 (pessimistic) scenarios of HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR and CNRM-CM 5.1 projection outputs were used and evaluated specifically for the province of Kahramanmaraş, in order to consider the possible effect of climate change in the future.

However, an important issue in the use of the climate model is the uncertainty of the parameters used in the process from the creation of the models to the regional climate model. For this reason, while using the aforementioned models, in order to reduce the uncertainty as much as possible, an evaluation was made under two separate scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5) by averaging separate models (ensemble or model bundle).

In order to determine the future surface and groundwater potential, the existing surface and groundwater potential was taken into consideration, and the study was carried out on the assumption that the decrease in precipitation determined by climate projections directly affects the water resources (i.e. it is assumed that climate change impacts on flows are the same with the impacts on precipitation.)

3.1. Possible Future Change in Climatic Parameters

Regarding climate change, future temperatures and precipitation have been evaluated. Accordingly, by using four robust meteorology gauge stations in the vicinity, which have reliable data in the 1980-2018 reference period, the distribution of precipitation throughout the province was determined, and

the representation ratio of each meteorology gauge station throughout the province was determined by means of Thiessen polygons. The long-term average of annual average temperature and annual total precipitation calculated with Thiessen weight ratios in the period of 1980-2018 within the borders of Kahramanmaraş are 12.84°C and 550.14 mm, respectively.

In the light of this data, possible changes in precipitation and temperature in the future were determined by using the outputs of climate change projections. It is seen that RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios, although they are generally called optimistic and pessimistic, do not behave very differently from each other until 2050 in Kahramanmaraş vicinity. More intense impacts of climate change are expected after 2050. This situation can be clearly seen from the temperature parameter change in the future. Annual average temperature change projections in Kahramanmaraş province are given in Figure 7.

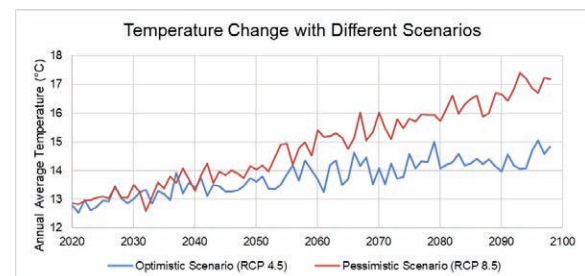


Figure 7. Temperature projections in Kahramanmaraş according to different scenarios until the end of the century

As can be seen in Figure 7, the annual average temperature increase according to both RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios is between 0.5 and 1°C until 2050. However, towards the end of the century, the difference between the scenarios becomes apparent, while the RCP 4.5 scenario shows an increase of approximately 2°C, the RCP 8.5 scenario indicates a temperature increase of 4 to 4.5°C. It is determined that the expected temperature increase

according to climate projections until the end of 2050 is 0.7°C for the RCP 4.5 scenario and 1.1°C for the RCP 8.5 scenario when the models are averaged according to the reference period (1980-2018). A linear increase trend is predicted in the future period in both scenarios.

Significant decrease in precipitation occurs mostly after 2050. When 10-year periods are evaluated, it is seen that in the 2060-2070 period when the precipitation is the lowest according to the RCP 4.5 scenario, the average long-term precipitation is at the level of 4% (the average precipitation decreases to 528 mm with a decrease of approximately 22 mm) compared to the reference period. In the period 2070-2080, which is the lowest according to the RCP 8.5 scenario, a decrease of 13% (average precipitation decreases to 478 mm with a decrease of approximately 72 mm) is expected.

The probable precipitation variation that may occur until the end of the century is given in Figure 8 for the RCP 4.5 scenario and in Figure 9 for the RCP 8.5 scenario.

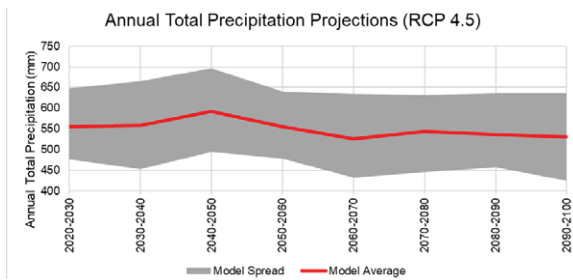


Figure 8. Possible precipitation change in Kahramanmaraş province by the end of the century under the RCP 4.5 scenario

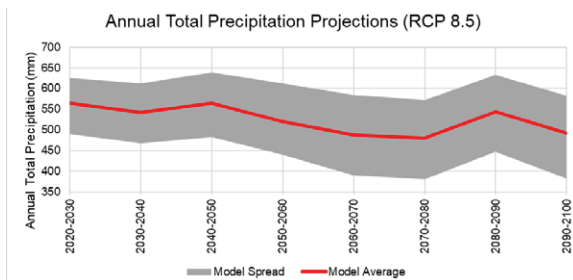


Figure 9. Possible precipitation change in Kahramanmaraş province by the end of the century under the RCP 8.5 scenario

3.2. Possible Future Change in Surface Water and Groundwater Potential

The change in surface water potential has been determined according to the possible precipitation change in Kahramanmaraş province in general. Within the scope of this study, in the most pessimistic state (2070-2080 period for RCP 8.5 scenario in Figure 9). Therefore, as stated before, it is assumed that the amount of possible decrease in flows are the same with the amount of possible decrease in precipitation, which is 13%.the effect of a possible decrease of 13% in precipitation is also accepted as the decrease in surface flows in the long term. In this context, in order to determine the surface water potential, the naturalized flows of the existing and potential drinking water resources of Kahramanmaraş were evaluated, and the possible change in the long-term average of the annual total flows was determined under the most pessimistic condition. Within the scope of the study, Ayvalı, Çetintepe and Menzelet Dams and Bertiz Weir were taken into consideration. The obtained decreased flows were used in operation studies, and the adequacy status of the facilities under possible climate change conditions were evaluated.

Facility Name	1980-2018 Period Annual Total Natural Inflows (hm ³ /year)	Possible Annual Total Natural Inflows Under the Effect of Climate Change (hm ³ /year)
(1)	(2)	(3)=(2)*(100% - 13%)
Ayvalı Dam	31.66	27.54
Bertiz Weir	59.50	51.77
Çetintepe Dam	402.23	349.94
Menzelet Dam	2,392.94	2,081.86

Table 4. Possible future changes in the natural inflows of water supply facilities in Kahramanmaraş province

Possible future changes in the natural flows of the facilities that supply water to Kahramanmaraş are given in Table 4.

Possible change in the usable groundwater potential of Kahramanmaraş province is directly related to the recharge of aquifers from precipitation. Therefore, while determining the change in groundwater, the assumption that groundwater recharge will be affected in the same amount has been taken into consideration in case of a possible decrease of 13% in precipitation under the impact of climate change.

Kahramanmaraş province is divided into 13 hydrogeological sub-basins in order to determine the hydrogeological potential for Kahramanmaraş province. The recharge and discharge balance of Kahramanmaraş province, which was prepared in the light of the available data, was re-evaluated under the condition that the future precipitation would decrease by 13%.

As a result of the studies conducted, it has been determined that under the impact of climate change, the groundwater recharge in Kahramanmaraş may decrease by 389.45 hm³/year. After the natural discharges, the remaining amount of annual groundwater potential reduces to 123.54 hm³/year. On the other hand, current withdrawal amount from groundwater resources is 242.35 hm³/year and this value is much smaller than the annual recharge. Therefore, under these conditions, it is thought that the recharge discharge balance may be disturbed by groundwater withdrawals. It is determined that under climate change impacts, relying on the groundwater for drinking water supply is very dangerous. In the future it is important to reduce the use of groundwater as much as possible throughout the province of Kahramanmaraş in order not to encounter any problems in the groundwater potential in the future and to use

groundwater safely as an auxiliary reserve for drinking water potential.

4. Adequacy of the drinking water resources

In order to evaluate possible future climate change and drought impacts, reservoir operation studies of dams supplying drinking water to Kahramanmaraş were repeated and assessments were made for the climate change and drought scenarios, considering the possible reduction amounts under the impact of climate change and extreme drought impacts in flows.

Dam inflows have been calculated in two different scenarios. In the first scenario (Chapter 3); the amount of drinking water that can be supplied from the dam in the event of a severe drought disaster with 100 years of recurrence interval (1% risk) was examined. The rate of reduction of the natural inflow of the dam during a possible 100-year recurring drought was calculated for each dam under Chapter 3 and given in Table 3. The flow value under extreme drought event has been found by reducing the average annual inflow with the calculated percentage. The extruded dry flow value calculated for each dam has been replaced by the lowest flow year in the inflow series of the dam. Thus, the inflows covering the severe dry year were obtained for each dam, operation study was carried out and the adequacy status of the dam was analysed. Only the dams were included in this scenario because a 100-years return period drought event cannot be reflected to the springs or wells directly.

In the second scenario (Chapter 4); the amount of drinking water that can be delivered from the dam has been examined, by assuming a 13% decrease in precipitation under the effect of climate change specific to the province of Kahramanmaraş and the

same amount of decrease in flows. Thus, for each facility, all inflows were reduced by 13%, resulting in input flows affected by climate change. With this study, the adequacy status of dams under the impact of climate change has been analysed.

Kahramanmaraş City Centre Water Resources	Available Drinking Water Supply Under Existing Conditions (hm ³ /year)	Available Drinking Water Supply Under Extreme Drought Conditions (hm ³ /year)	Available Drinking Water Supply Under Climate Change Conditions (hm ³ /year)
Scenario Name	Reference Scenario	Scenario 1	Scenario 2
Pınarbaşı Spring	15.77	-	13.72
Karasu Spring	47.30	-	41.15
Ground-water Wells	14.50	-	12.62
Ayvalı Dam (no Bertiz Diversion)	17.14	17.12	13.85
Existing Resources	94.71	-	81.34
Maraş Plain Grounwater Wells (Under construction)	6.87	-	5.98
Ayvalı Dam+Bertiz Diversion	39.94	39.33	38.25
Menzelet Dam	94.67	94.67	94.67
Çetintepe Dam	48.00	48.00	38.64

Table 5. Potential amount of water resources that can be supplied to drinking water under the impact of drought and climate change in Kahramanmaraş city centre

As a result of the study carried out by considering the impact of climate change and

drought, the potential that the water resources in the city centre of Kahramanmaraş can supply to drinking water under the impact of possible drought and climate change has been determined. The determined water potentials are given in Table 5. In Table 5, it can be seen that the impact of climate change directly affects the natural springs and wells (i.e. 13% decrease directly). However, dam reservoirs under climate change impacts can be affected differently. For example, drinking water supply potential of Menzelet Dam is not affected for both drought and climate change scenario.

5. Evaluations of the results

Within the scope of the study, how the drinking water potential of Kahramanmaraş city centre could be affected under the impacts of drought and climate change was assessed. In the evaluation of hydrological droughts, it was determined that moderate and very severe droughts were observed in Kahramanmaraş province in 1971-1974, 1983-1986, 1989-1991, 1994, 2001, 2005-2008, 2014 and 2016-2018 periods.

Along with the specified dry periods, the drought risk analysis was also carried out by using the drought magnitudes calculated by runs theory, thus the hydrological drought risk was revealed in a way that can easily be interpreted without the need for an expertise in drought. Here, the assumption that the drought at a risk level of 1% (with 100 years of recurrence interval) -which represents a severe drought- were considered. In an event of a 100-years return period drought, the hydrological impact has been assessed in terms of quantity. Using the possible decrease in the flows calculated by this method, it has been revealed how the potential facilities can be affected in case of a 100-year recurrence interval drought event in the operation study. In addition to the drought studies, the future

precipitation and temperature changes were determined by using three models and two scenarios (6 projections in total). Accordingly, the expected temperature increase according to the climate projections until the end of 2050 is 0.7°C for the optimistic (RCP 4.5) scenario and 1.1°C for the pessimistic (RCP 8.5) scenario by averaging the models in the reference period (1980-2018). In addition, no significant increase or decrease trend in precipitation has been observed until the end of 2050. It is expected that the impacts of climate change will be observed in a more intense manner after 2050. For this reason, the examined period was extended until 2100, and it was determined that the average precipitation could decrease to 13% in the 2070-2080 period according to the pessimistic scenario (RCP 8.5). Analyses and evaluations have been carried out with the assumption that 13% decrease in average precipitation will impact groundwater and surface water potential at the same rate in the long term. In this process, it is assumed that natural springs and wells are directly affected by the decrease of 13% percent. However, dam reservoirs have the advantage to regulate the inflows in a longer period of time. So, inflows affected by the climate change impacts were operated again for dams and possible decreases in drinking water potential were calculated.

The outcomes of this study and required precautions for those outcomes are listed below:

- ▶ Existing water resources are not sufficient to cover the demand to supply drinking water to the city centre until 2050, (which is 100.59 hm³/year).
- ▶ With the impacts of climate change, existing supply amount of drinking water resources drops from 94.71 hm³/year to 81.34 hm³/year. This indicates that; even the demand of 2030 (85.07 hm³/year) may not be covered with the existing water resources under climate change conditions.
- ▶ Therefore, a new drinking water resource is urgently required to adapt the climate change impacts.
- ▶ Another pressure on the drinking water supply is very high loss-leakage rates. Currently, 49% of the supplied drinking water is lost in the system. If this rate does not drop in the future, existing drinking water resources supply amount (94.71 hm³/year) will not be sufficient to cover the demand until 2030 (101.00 hm³/year). Therefore, it is a must to decrease the loss-leakage rate to 20% gradually until 2050 (which is given in Table 1).
- ▶ In order to determine which water resource alternative is the most reliable, the alternative water resources were tested under the impacts of climate change and drought. And it is determined that Menzelet Dam will be the best alternative as the amount of water supplied from the dam is not affected from climate change and drought impacts.
- ▶ With the addition of Menzelet Dam to the existing drinking water resources under climate change impacts (81.34 hm³/year), it is determined that another 94.67 hm³/year can be used as a drinking water resource, in other words, by using Menzelet Dam as a water resource, the drinking water supply doubles (176.01 hm³/year). In that case, the drinking water demand of Kahramanmaraş city centre will be covered until 2050.
- ▶ However, in this study it is also determined that groundwater resources are not reliable because the withdrawals are much higher than the recharge of groundwater potential

under climate change conditions. So, it is proposed that keeping both the existing and under construction groundwater resources as auxiliary water resources, which will only be used in emergency conditions. If the groundwater resources are kept as auxiliary sources, drinking water supply amount under climate change impacts will reduce to 163.39 hm³/year, which is still sufficient to cover the demand of 2050 (100.59 hm³/year if loss-leakage rate gradually drops to 20% in 2050 and 157.07 hm³/year if loss-leakage rate does not change until 2050).

6. Acknowledgements

This study is conducted as a part of Sustainable Cities Project: Kahramanmaraş Integrated Urban Water Management Plan. The author expresses his gratitude to the team leader F. Onuralp Mescigil and all of the project team in Dolsar Engineering Inc. Co., and the Client of the project which is Kahramanmaraş Drinking Water and Sewerage Administration under Kahramanmaraş Metropolitan Municipality for their supports.

REFERENCES

- [1] NASA, "The Causes of Climate Change," 2021. [Online]. Available: <https://climate.nasa.gov/causes/>. [Accessed 24 February 2021].
- [2] L. Gudmundsson and S. I. Seneviratne, "Anthropogenic climate change affects meteorological drought risk in Europe," *Environ. Res. Lett.*, vol. 11, 2016.
- [3] IPCC, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Stocker, T.F., Q. D., G. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley, Eds., Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013.
- [4] IPCC, *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chan, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu ve B. Zhou, Dü, Cambridge University Press. In Press, 2021.
- [5] IPCC, *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate...*, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor and T. Waterfield, Eds., 2018.
- [6] SYGM, "İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi- Proje Nihai Raporu," SYGM, Ankara, 2016.
- [7] T. B. McKee, N. J. Doesken and J. Kleist, "The relationship of drought frequency and duration to time scales," in *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Boston, MA, USA, 1993.
- [8] N. B. Guttman, "Comparing the Palmer drought index and the standardized precipitation index," *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 34, no. 1, pp. 113-121, 1998.
- [9] N. B. Guttman, "Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm," *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 35, no. 2, pp. 311-322, 1999.
- [10] W. Palmer, "Meteorological Drought," U.S. Department of Commerce - Weather Bureau, Washington, D.C., 1965.
- [11] S. Vicente-Serrano, S. Beguería ve J. López-Moreno, «A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index,» *J. Clim.*, cilt 23, pp. 1696-1718, 2010.
- [12] S. Shukla ve A. W. Wood, «Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought,» *Geophys. Res. Lett.*, cilt 35, 2008.

- [13] V. Yevjevich, "An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts," *Hydrology Papers*, 1967.
- [14] Z. Şen, "Wet and dry periods of annual flow series," *Journal of the Hydraulics Division*, vol. 102, no. 10, pp. 1503-1514, 1976.
- [15] Z. Şen, "Run-sums of annual flow series," *Journal of Hydrology*, vol. 35, pp. 311-324, 1977.
- [16] Z. Şen, *Applied Drought Modeling, Prediction and Mitigation*, Elsevier, 2015.

Vodni parametri Posavine

/

Water parameters of Posavina

Mr. sc. Siniša Maričić, dipl. inž. građ.

Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku
Vladimira Preloga 3, Osijek, R. Hrvatska
smaricic@gfos.hr

Oborine i vodostaji nekog prostora glavni su pokazatelji vodnog stanja i njegovih promjena. Srednja i donja Posavina nizinsko je područje formirano kretanjem vode (površinski terenom i vodotocima) te otjecanjem koritom Save. U radu se razmatraju oborine meteoroloških stanica Slavonski Brod, Županja i Gradačac, te vodostaji rijeke Save zabilježeni na hidrološkim stanicama Gradiška, Kobaš, Brod, Šamac i Županja. Neki podaci su kraćeg (ali respektabilnog) perioda (1961.-2021.), a neki dugog (od 1900. naovamo, s ponekim propuštenim godinama). Korišteni fond podataka omogućuje uočavanje nekih specifičnih promjena vodnog režima. Prosječni vodostaji Save opadaju oko trećinu metra svakih 30-tak godina. Pri tom ekstremni (minimalni i maksimalni) vodostaji postaju sve izraženiji. Kako je ovo nizinski kraj prirodno je usmjeren na poljoprivredu. Sve niži vodostaji doprinose isušivanju tla, a sve viši prijete poplavama i pridonose prevlaživanju tla. Posebno je analizirana pojavnost prijetećih velikih vodostaja i nadprosječnih kiša u proljetnom periodu, kada su poljoprivredne kulture najranjivije. Uočljivo je povećanje pojavnosti ovakve opasnosti u ovom stoljeću, čemu treba posvetiti pažnju u kontekstu prilagodbi klimatskim promjenama.

Ključne riječi

Posavina, oborine, vodostaji, klimatske promjene

Precipitation and water levels of an area are the main indicators of water status and its changes. Middle and lower Posavina is a lowland area formed by the movement of water (surface terrain and watercourses) and runoff along the Sava riverbed. The paper considers the precipitation of the meteorological stations Slavonski Brod, Županja and Gradačac, and the water levels of the Sava River recorded at the hydrological stations Gradiška, Kobaš, Brod, Šamac and Županja. Some data are of a shorter (but respectable) period (1961-2021), and some of a long one (from 1900 onwards, with some missed years). The data base used enables the observation of some specific changes in the water regime. The average water levels of the Sava fall by about a third of a meter every 30 years or so. At the same time, extreme (minimum and maximum) water levels are becoming more pronounced. As this is a lowland area it is naturally focused on agriculture. Lower water levels contribute to soil drainage, and higher water levels threaten floods and contribute to soil moisture. The occurrence of threatening high water levels and above-average rains in the spring period, when agricultural crops are most vulnerable, was especially analyzed. There is a noticeable increase in the incidence of this danger in this century, which needs to be addressed in the context of adaptation to climate change.

Key words

Posavina, precipitation, water levels, climate change

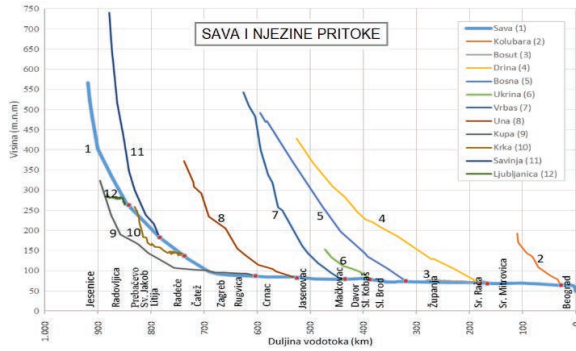
Od vremena najstarijih civilizacija rijeke nerijetko imaju ulogu svojevrsnih integratora određenih prostora (doline Nila, Gangesa, Eufrata, Tigrisa, Yangtzea). Dakle, prirodno-geografski elementi i čimbenici u prostoru mnogih poriječja poticali su njihovu društveno-gospodarsku, a često i političku integraciju. Rijeke se javljaju od samih početaka prakse prostornog planiranja kao prostorni integratori, konstituenti planskog prostora, determinatori regija koje im gravitiraju prirodnim otjecanjem i funkcionalnim odnosima koji iz toga deriviraju, [1].

Rijeka Sava je interesantan i kompleksan europski vodotok crnomorskog sliva. Pripada dunavskom Rijeka Sava je interesantan i kompleksan europski vodotok crnomorskog sliva. Pripada dunavskom podslivu, gdje je treća rijeka po duljini toka (iza Tise i Drave), druga po slivnoj površini (iza Tise), ali izrazito prva po vodnoj izdašnosti (protoku). Njezino porječje pokriva oko 70 % teritorija Bosne i Hercegovine, oko 55 % teritorija Slovenije, oko 50 % teritorija Crne Gore, oko 45 % teritorija Hrvatske, dobar dio teritorija Srbije i mali dio teritorija Albanije. [2]

Sava je desni pritok Dunava, duga je preko 900 km s porječjem od preko 95 000 km². Nastaje sutokom dvaju izvorišnih tokova u Julijskim Alpama (Slovenija), rijeka Save Dolinke i Save Bohinjke, nedaleko Radovljice. Odatle teče prema jugoistoku, prolazi kroz glavni grad Slovenije, Ljubljanu, odakle dalje nastavlja prema istoku. Iz Slovenije prelazi u Hrvatsku, teče kroz glavni grad Hrvatske,

Zagreb, a nešto nizvodnije čini granicu između Bosne i Hercegovine (BiH) i Hrvatske. Potom, malim dijelom ulazi u BiH, pa onda jednim dijelom razgraničava BiH i Srbiju, da bi ušla u Srbiju, gdje se u njenom glavnom gradu, Beogradu, ulijeva u Dunav.

Područje lijevo i desno od Save se naziva Posavina. S jedne strane to je dugačka sjeverna granica Dinarskog prostora, a s druge je to i južni rub Panonskog bazena. Često se upravo tok rijeke Save smatra sjevernom granicom Balkanskog poluotoka. Tok rijeke Save je okosnica crnomorskog sliva na prostoru Dinarskih planina. Posavina je nisko položena te joj dotiču svi veći dinarski riječni tokovi: Krka (Dolenjska), Kupa, Una, Vrbas, Ukrina, Bosna, Drina i Kolubara. Većina ovih rijeka ima kompozitni karakter riječnih dolina s velikim uzdužnim padovima zbog čega raspoložu značajnim hidroenergetskim potencijalom, na što ukazuje slika 1.

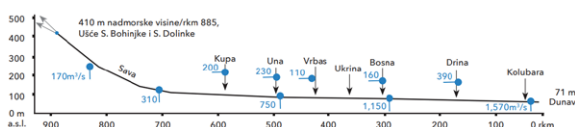


Slika 1. Prikaz uzdužnih profila Save i njezinih pritoka, [3]

Zajedničko svojstvo gotovo svih desnih pritoka na srednjem i donjem toku rijeke Save je njihov bujični karakter, posebice u njihovim gornjim tokovima. Riječna korita su obično duboko usječena u čvrste stijene, s izrazito silovitim tokom kroz klance. Slivovi rijeka Vrbasa i Bosne imaju 274 vodotoka sa slivnim površinom većom od 10 km². Rijeci Bosni pripada 227 vodotoka, od čega je 30 sa slivom preko 100 km² površine; [3].

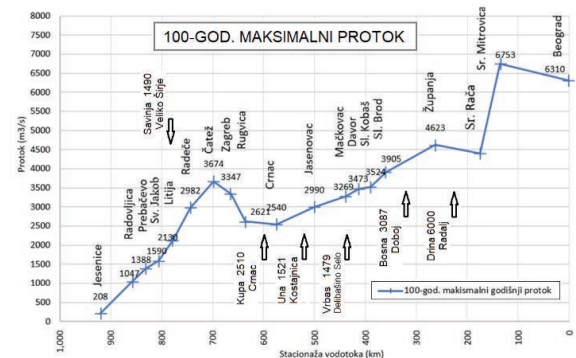
Zbog hidrografskih osobina Sava se dijeli na gornju Savu (od izvora do Sutle), srednju Savu (od ušća Sutle do ušća Bosne) i donju Savu (od ušća Bosne do utoka Save u Dunav); [2].

Sliv Save karakterizira neposredno slivno područje, koje zauzima nešto manje od 40% ukupne slivne površine, i veći posredni dio (porječja desnih pritoka Kupe, Une, Vrbasa, Bosne, Drine i Kolubare). Posredna porječja značajno izobličuju slivnu cjelinu prema jugoistoku. Nizvodno od ušća Kupe, u korito Save glavina voda dolazi s juga, iz Bosne (vidi sliku 2). Te vode donose u savsko korito 70 % od protoka Save na njezinu ušću u Dunav; [4, 2].



Slika 2. Uzdužni profil Save na kojem su prikazani stacionaža korita (rkm), ušća pritoka i njihovi prosječni protoci [u m³/s]; [4]

U najzapadnijem dijelu sliva prosječne godišnje oborine (1570 mm) i koeficijent slijevanja (0,68) vrlo su visoki, pa je gornja Sava glavna „hraniteljica“ vodom cijeloga savskoga toka; [2]. Visoki protok (prosječno oko 300 m³/s, a 100-godišnje maksimalno preko 3000 m³/s) u alpskom, gornjem dijelu sliva rijeke izaziva topljenje snijega u kasno proljeće.



Slika 3. Pregled 100-godišnjih maksimalnih godišnjih protoka na glavnom toku rijeke Save, [4, 5]

Srednji i donji dijelovi sliva rijeke pod utjecajem su padalina u jesen i zimi (mediteranski utjecaj), a posebice režima vodotoka velikih južnih pritoka. Stogodišnje vode (slika 3) desnih pritoka, već i pojedinačno, su reda veličine onih u pripadnom dijelu korita Save (npr. Kupa, Crnac – 2510 i Sava, Crnac – 2540 m³/s; Una, Kostajnica + Vrbasa, Delibašino Selo – 3000 i Sava Slavonski Brod – 3950 m³/s; Vrbasa, Delibašino Selo + Bosna, Doboj – 4566 i Sava, Županja – 4527 m³/s; Drina, Radalj – 6000 i Sava, Sremska Mitrovica – 6753 m³/s); [4]. Dakle, svaka od pritoka može poplavno ugroziti Posavinu, [6-8]. Ponekad se čak zaredaju poplave iz različitih izvora koje tada dovode do dugotrajnih poplava. Poplava 2014. godine izražena na donjem toku Save, najveća u stoljeću, primarno je potekla iz porječja Bosne i Vrbasa. [5].

Rijeka Sava jedna je od najbolje očuvanih rijeka u Europi. Jednu od najvećih prijetnji Savi predstavljaju projekti hidroelektrana (HE), koji znače uništavanje riječnog ekosustava. U cijelom slivu rijeke Save planirano je

preko 500 velikih i malih HE. Veliki dio planiranih velikih HE na Savi nalazi se u Sloveniji, gdje je već izgrađeno 8 velikih i više od 200 malih HE, koje su prisutne i na Savi i na njezinim pritokama.

Izgradnja prvih velikih HE na Savi dogodila se 1950-ih godina; HE Moste izgrađena je 1952. godine, zatim HE Medvode 1953. godine. Prvotno je bila planirana izgradnja zatvorenog lanca HE do granice s Hrvatskom, ali je iz raznih razloga odgođena 30 godina do izgradnje HE Mavčiće (1986.) i HE Vrhovo (1994.). Zbog kašnjenja u izgradnji, sliv rijeke Save najmanje se koristi hidroenergetskom energijom među glavnim slovenskim rijekama. Iskorištava se nešto manje od 12% raspoloživog hidropotencijala, što iznosi 7,4% ukupne hidroenergije proizvedene u Sloveniji. Holding Slovenske elektrarne (HSE) namjerava izgraditi lanac od 10 novih velikih hidroelektrana na području srednje Save: HE Suhadol, HE Trbovlje, HE Renke, HE Ponoviče, HE Kresnice, HE Jevnica, HE Zalog, HE Šentjakob, HE Gameljne i HE Tacen, [9, 10].

Na srednjem toku Save u Hrvatskoj, više od 60% nekadašnje poplavne nizine još je uvijek povezano s rijekom, što omogućava značajan kapacitet zadržavanja poplavnih voda. Ovaj dio Save predstavlja jedinstven primjer prirodne obrane od poplava korištenjem prostiranih prirodnih retencija te može poslužiti kao model za ostale dijelove rijeke. Međutim, nizvodno od ušća rijeke Bosne, na donjoj Savi, gotovo 85% izvornih poplavnih površina je odsječeno od rijeke; [4].

Planiranje riječnog prostora i same rijeke veoma je kompleksno, prožeto isprepletenim utjecajem brojnih čimbenika i iznimno osjetljivo, posebno s političkog i društveno-gospodarskog aspekta. Primjerice, veći zahvati na Savi i u njezinu poriječju u Sloveniji snažno se odražavaju na prostor i proces prostornog planiranja u Hrvatskoj. Naime, moguće

promjene riječnog režima i povećanje protoka u Sloveniji čine neadekvatnim sadašnji sustav zaštite od poplava u Hrvatskoj, pri čemu bi bile potrebne skupe rekonstrukcije na zaštitnom sustavu. Dakle, pri procesu prostornog planiranja potrebno je međunarodnim sporazumima uskladiti međudržavne interese i tek onda krenuti u veće zahvate i ulaganja. [10].

1. Razmatrana lokacija Posavine

Srednja i donja Posavina nizinsko je područje formirano kretanjem vode (površinski terenom i vodotocima) te otjecanjem koritom Save. Iz prethodnog opisa uočljivo je da postoji međuovisnost vodnog stanja na nekom dijelu sliva sa stanjima ostalih dijelova, ali i sa globalnijim utjecajima. Oborine i vodostaji nekog prostora glavni su pokazatelji vodnog stanja i njegovih promjena. Narednim primjerom se ukazuje na neke mogućnosti uočavanja promjena pomoću lokalnih pokazatelja. Kako rijeka Sava mijenja svoj karakter duž toka ovdje je pažnja usmjerena na nizvodni dio srednje Save i početak Donje Save (Gornja/Donja Sava). Izdvojeno je pet vodomjernih postaja na dijelu toka gdje pritječu rijeke Vrbas i Bosna (Rijeka Vrbas ulijeva se u Savu na 427 r.km s desne strane i svojom dužinom od 253 km prikuplja vodu sa sliva površine 5.570 km²; Rijeka Bosna ulijeva se u Savu na 314,5 r.km i ističe se sa svojih 306 km dužine i 10.460 km² površine sliva, pri čemu unosi u Savu 5,5 milijardi m³ vode godišnje; [11]). Osnovne odrednice odabranih i razmatranih hidroloških stanica date su u tablici I, [12].

Hidrološka stanica (Sava)	Županja - stepenica	Slavonski Šamac	Slavonski Brod	Slavonski Kobaš	Stara Gradiška
Oznaka	3211	3101	3098	3177	3104
Stacionaža (r.km)	262,0	306,0	360,0	390,5	453,4
Površ. sliva (km ²)	62891	62288	50858	48744	40262
„0“ vodomjera	76.277	80.696	81.800	82.690	85.467
Početak mjerenja	1886.	1878.	1855.	1886	1817.

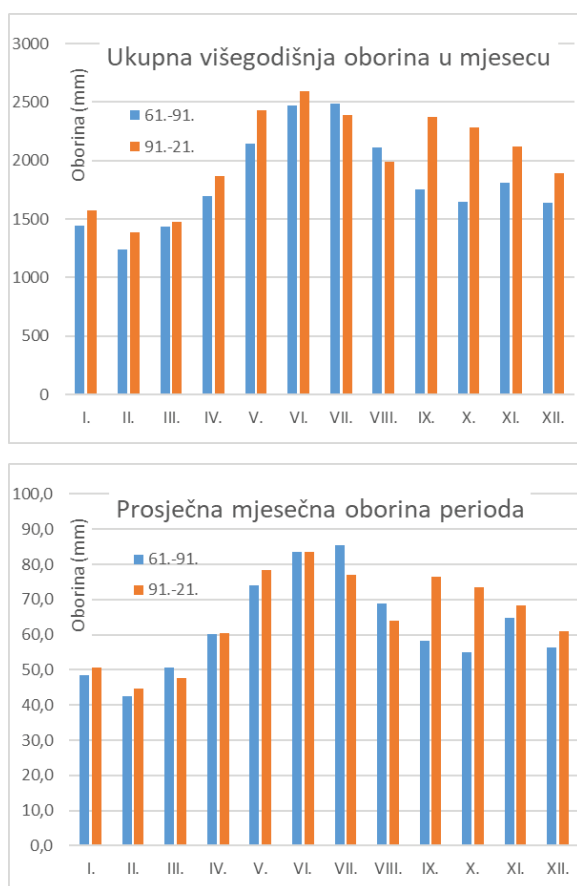
Tablica I. Parametri hidroloških stanica Gornje/Donje Save

Oborina je važna komponenta hidrološkog ciklusa te osnovna ulazna veličina hidrotehničkih aktivnosti. U području razmatrane

lokacije nalaze se meteorološke stanice Slavonski Brod i Županja, za koje su dostupni podatci dužeg niza (1961.-2021.) i stanica Gradačac znatno oskudnijeg fonda podataka.

2. Oborinski parametri

U radu se razmatraju oborine meteoroloških stanica Slavonski Brod, Županja (HR) i Gradačac (BiH). Podatci o dnevnim oborinama su kraćeg (u odnosu na vodostaje), ali raspektabilnog perioda, koji omogućuje razdvajanje na dva ujednačena podperioda radi njihove usporedbe. Tako korišteni fond podataka omogućuje uočavanje mogućih specifičnih promjena vodnog režima.

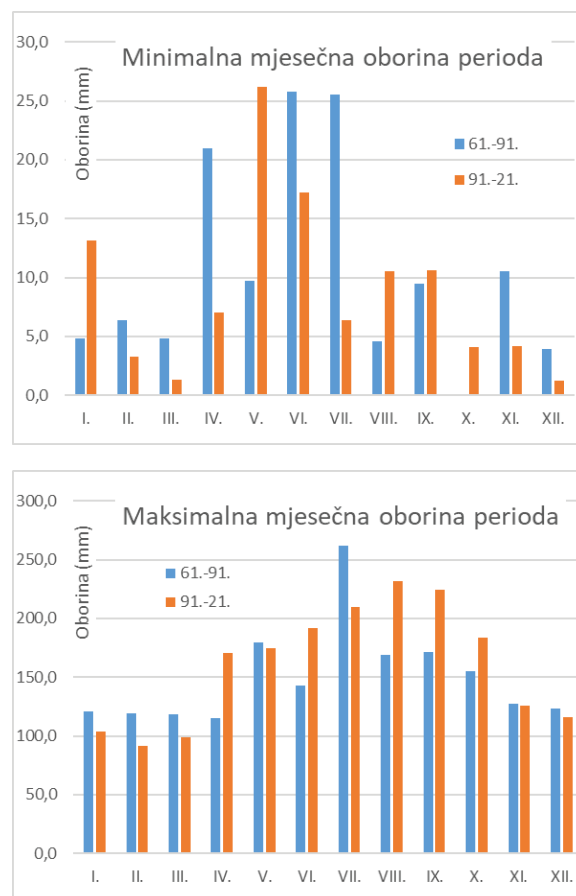


Slika 4. Ukupna oborina pojedinog perioda (gore) i prosječni oborinski režim (dolje) tijekom godine, područja Slavenskog Broda, za dva 31-godišnja perioda

Ukratko se obrada može predstaviti pomoću oborina registriranih za područje Slavenskog

Broda. Iz grafičkih prikaza slike 6 vidljivo je da je u drugom periodu (1961.-2021.) došlo do malog generalnog povećanja količine oborina, a značajnije je to izraženo pred i tijekom jesenskog perioda.

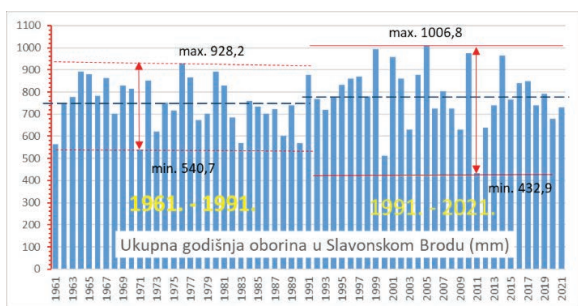
Minimalne mjesečne oborine (vidi sliku 7) nešto su veće tijekom proljeća i početkom ljeta, ali nisu posebno obilježile pojedine razmatrane periode. S novim periodom pojavile su se neke manje minimalne mjesečne vrijednosti (za IV., VI., VII. i XI. mjesec). Maksimalne mjesečne oborine izrazitije su od početka proljeća do početka jeseni. U tom periodu došlo je i do osjetnijeg povećanja maksimalnih mjesečnih vrijednosti (za IV., VI., VIII., IX i X mjesec). Tijekom zime uočava se izvjesno smanjenje mjesečnih maksimuma.



Slika 9. Minimalne i maksimalne oborine pojedinih mjeseci u godini, područja Slavenskog Broda, za dva perioda

Ukupna količina oborina pala tijekom godine u Slavenskom Brodu, za razmatrani period 1961.-2021. godine, registrirana je u rasponu od minimalne vrijednosti 432,9 mm do maksimalne 1006,8 mm. Oba ova ekstrema pripadaju drugom 31-godišnjem periodu, što ukazuje na promjene koje je on donio.

S obzirom na ukupnu godišnju količinu oborina, čiji hod je predočen slikom 8, može se konstatirati da je pet puta u novijem periodu prekoračen prethodni maksimum, a dva puta minimum. Dakle, pojavili su se sve veći ekstremi godišnje količine, češće kao maksimumi, a dva puta je iza izrazito velikih količina nastupila godina s izrazito malom količinom oborina.



Slika 6. Godišnja količina oborina (mm) područja Slavenskog Broda tijekom perioda 1961.-2021. godine

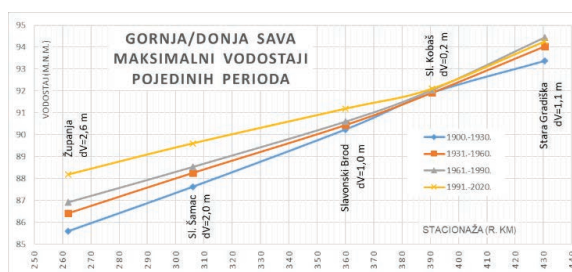
Vrlo slične rezultate daju podatci zabilježeni na meteorološkoj stanici Županja, što je i očekivano zbog relativne blizine lokacija ovih mjernih mjesta. Znatno manji fond podataka meteorološke stanice Gradačac omogućio je samo usporedbu podataka novijeg datuma. Registrirane oborine u BiH su uglavnom malo veće, ali u proljeće 2014. one su bile dvostruko veće od onih sa slavenskih stanica.

3. Vodostaji predmetne lokacije

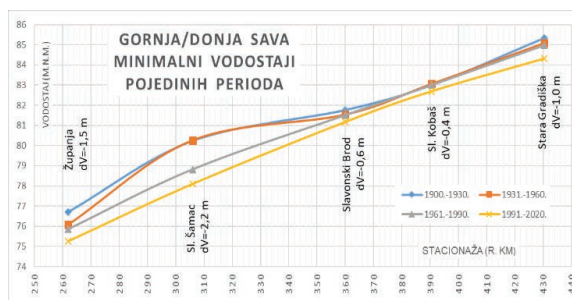
Razmatrani su vodostaji rijeke Save zabilježeni na hidrološkim stanicama Gradiška, Kobaš, Brod, Šamac i Županja. Na ovim stanicama prikupljaju se podatci od različitih početnih godina IX. stoljeća, a na raspolaganju su

bili oni poprilično dugog perioda, od 1900. naovamo, s ponekim propuštenim godinama.

Prema dostupnim podacima, [12], razmatrani su ekstremni dnevni vodostaji, maksimumi i minimumi, za četiri 30-godišnja razdoblja (1900.-1930.; 1931.-1960.; 1961.-1990. i 1991.-2020.). Promjene, odnosno stalno povećanje ekstremnih vrijednosti vodostaja po razmatranim razdobljima, predočene su grafički na slikama 6 i 7. Ove promjene nisu svuda slične, već su izraženije (2-2,6 m) nizvodno od ušća Bosne, a deset puta manje su između ušća Vrbasa i Bosne (oko 0,2 m).



Slika 4. Promjena maksimalnih vodostaja pojedinih 30-god. perioda na dionici Gornja/Donja Sava



Slika 5. Promjena minimalnih vodostaja pojedinih 30-god. perioda na dionici Gornja/Donja Sava

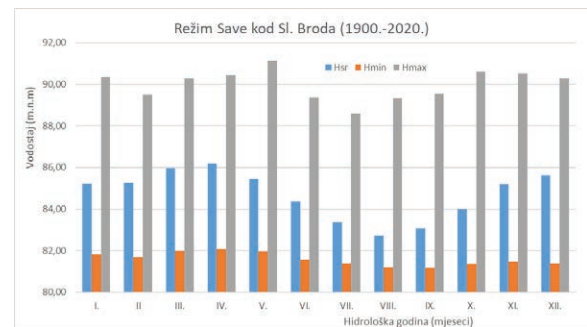
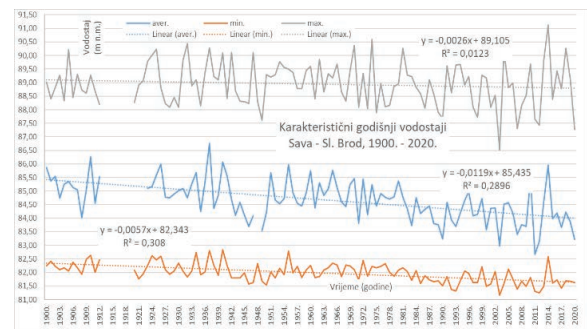
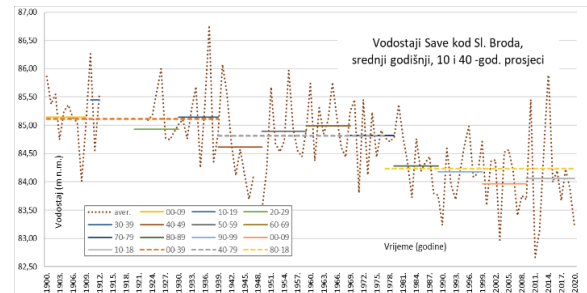
Režim rijeke na ovom dijelu toka razmatran je pomoću podataka hidrološke stanice Slavenski Brod. Od dostupnih podataka nije bilo registriranih vrijednosti za period godina 1913.-1919. i dio 1916. godine. Ukupni fond podataka razdoblja 1900. - 2020. razmatran je kroz tri 40-godišnja razdoblja. Rezultati analize su predstavljeni narednim grafovima (slike 6-9). U svakom novom razdoblju (od

40 godina) došlo je do opadnja prosječnog vodostaja, u posljednjem je to izraženije. Svi karakteristični vodostaji (dnevni, tijekom godine - maksimalni, prosječni, minimalni) pokazuju generalni trend opadanja. On je najizraženiji kod prosječnih vrijednosti (oko 1,2 cm godišnje), dosta manji je kod minimalnih vodostaja (oko 0,6 cm/god), a vrlo blag je za maksimalne vodostaje. Može se reći da su vodostaji Save kod Slavenskog Broda u razdoblju prelaska dvaju stoljeća prosječno metar niži od onih s početka prošlog stoljeća.

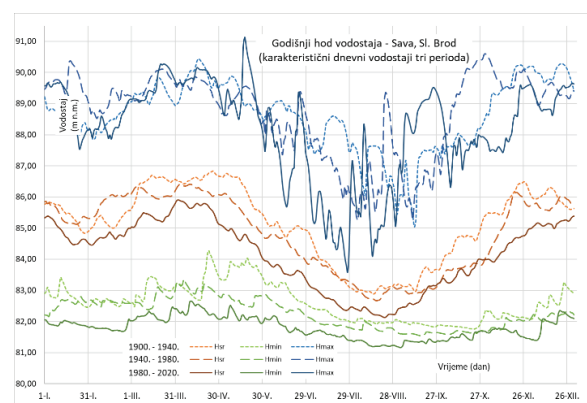
Režim Save na promatranj lokaciji za podatke cijelog razmatranog fonda godina (1900. - 2020.) prosječno govori o sušnom stanju ljeti (VII. - IX. mjesec) te velikim vodama u proljeće (III. - IV. mj.) i početkom zime (XII. mj.). Prosječna oscilacija vodostaja tijekom godine je oko 3 metra, a maksimalni raspon oscilacija je gotovo 10 m.

Bolju predodžbu o režimu, ali i uočavanje promjena tijekom vremena omogućuje prikaz karakterističnih vodostaja za 40-godišnja razdoblja, dat slikom 10. Uočljivo je opadanje svih vodostaja po razdobljima, naročito prosječnih dnevnih. Najnezgodnije se to uočava za maksimalne vodostaje, koji ukazuju na općenito sniženje ljeti, ali pokazuju da mogu iznenaditi svojom ugrožavajućom pojavom tijekom cijele godine. Prikaz učestalosti i trajanja vodostaja tijekom godine za razmatrana 40-godišnja razdoblja pokazuje puno manju pojavnost viših vodostaja, a veću nižih. Ta promjena je intenzivnija u posljednjem razdoblju.

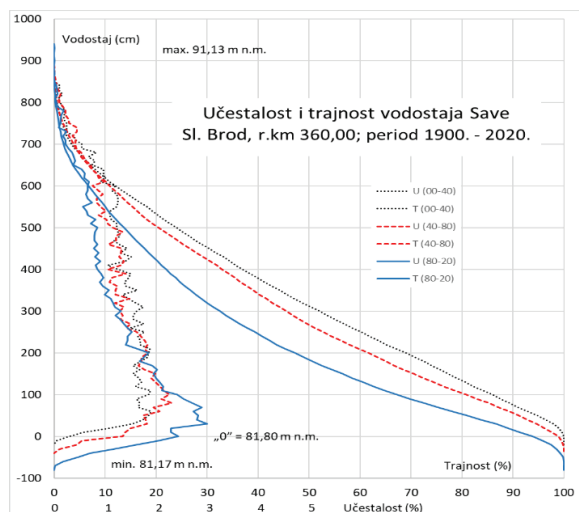
Jednostavnije rečeno, prije stotinjak godina korito Save kod Slavenskog Broda je bilo punije (s višom razinom vode) za preko metra nego je to danas. Stalno se pojavljuju sve niži vodostaji, niži od prosjeka se duže zadržavaju, a viši se rjeđe zadržavaju, ali se pojavljuju sve viši i opasniji vodni valovi.



Slika 6. Vodostaji Save kod Slavenskog Broda, 1900.-2020. godine:
a) srednji godišnji s 10- i 40-god. prosjecima;
b) karakteristični godišnji (minimalni, srednji i maksimalni) s trendovima;
c) hidrološki režim perioda;



Slika 6. Vodostaja Save kod Slavenskog Broda, 1900.-2020. godina, za tri 41-god. perioda:
a) godišnji hod (režim) karakterističnih dnevnih vodostaja



Slika 6. Vodostaja Save kod Slavenskog Broda, 1900.- 2020. godina, za tri 41-god. perioda:
b) učestalost i trajnost pojavnosti

4. Opasne proljetne vode

Ovaj dio rada inspiriran je problematikom suvišnih voda u poljoprivredi jer se u ravničarskoj Posavini uglavnom uzgajaju ratarske kulture. Biljke su najosjetljivije u ranim stadijima uzgoja jer tada i za kratkotrajnu (nekoliko dana) pojavu loših vodo-zračnih uvjeta tla dolazi do značajnih šteta u proizvodnji. Desetak dana prevlaživanja može potpuno upropastiti poljo-proizvodnju. Zato su u Posavini izvedeni složeni zaštitni hidrotehnički sustavi. Lateralnim kanalima se prikupljaju vanjske, brdske vode, nasipima se brani zaobalje, kanalskom mrežom se prikladno odvodnjavaju površine, a evakuacija suvišne vode se osigurava ustavama i crpnim stanicama kada vodostaji Save ne dozvoljavaju gravitacijsko otjecanje, [14, 15].

U ovom dijelu rada promatrane su, kao „opasne proljetne vode“, velike oborine predmetnih stanica registrirane za IV. i V. mjesec (sumarno) u kombinaciji s vodostajima Save obližnjih hidroloških stanica koji poplavno prijete zaobalju. Kao velike oborine uzete su one oko 50 % veće od prosjeka (200 mm). Ovdje je poplavna prijetnja pridružena vodostajima pola metra nižim od onih za progla-

šenje nastupanja mjera redovite obrane od poplava. Izdvajanjem godina kada su vodostaji u proljeće premašili uvedeni prag te godina sa dosta nadprosječnim proljetnim oborinama došlo se do iskaza u tablici II.

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

Broj događaja veće kiše ili vodostaja (iznad kriterija) u razmatranom periodu

Tablica II. Opasne proljetne vode broskog područja

Županja	1961. - 2000. u 40 godina		Županja	2001. - 2020. u 20 godina	
	Proljeće a.d.	Kiša IV.+V. (mm) / Sava (m n.m.)		Proljeće a.d.	Kiša IV.+V. (mm) / Sava (m n.m.)
XX. st.	> 200	≥ 84,6	XXI. st.	> 200	≥ 84,6
1961.	237,1	84,43	2002.	145,3	84,04
1965.	132,6	85,65	2004.	240,5	86,33
1970.	142,3	85,94	2005.	105,6	85,21
1975.	206,6	86,11	2006.	148,7	84,92
1980.	266,6	84,90	2010.	229,7	84,82
1981.	111,6	86,74	2013.	176,7	85,18
1984.	181,8	84,54	2014.	275,7	87,89
1987.	220,7	85,20	2016.	102,0	84,98
1989.	189,4	83,30	2017.	122,9	82,23
1991.	179,9	84,06	2019.	242,4	84,47
2	4	6	4	4	7

Broj događaja veće kiše ili vodostaja (iznad kriterija) u razmatranom periodu

Tablica III. Opasne proljetne vode županjskog područja

Iz datog iskaza uočljivo je povećanje poplavne opasnosti koja se intenzivirala u XXI. stoljeću. Dok je u 40-godišnjem periodu s kraja prošlog stoljeća bio jedan događaj koincidencije velikih kiša i visokih vodostaja početkom proljeća, u 20-godišnjem periodu ovog stoljeća desilo se to četiri puta. Vrlo slične rezultate (tablica III) daje i meteo-stanica Županja u kombinaciji s savskim vodostajima na hidrološkoj stanici Županja-stepenica.

5. Zaključni osvrt

Iz iznesenog opisa sliva Save može se konstatirati postojanje međuzavisnosti osobina i promjena na pojedinim dijelovima sliva. Promjene na nekoj lokaciji generiraju promjene i šire oko sebe. Sava je međunarodna rijeka pa ta činjenica upućuje na nužnost međudržavne suradnje, koja je ovdje prisutna

i treba težiti njenom poboljšanju.

Vodni parametri neke lokacije sliva Save, prije svega podatci o oborinama i vodostajima, nužni su za sagledavanje stanja sliva, a osnova su planiranja razvoja. Rezultati ovdje predstavljenih razmatranja dočaravaju promjene u Posavini. Podsjećaju na važnost mjerenja u hidrotehnici jer dugi nizovi podataka omogućuju usporedbi stanja od ranije i onih suvremenijih.

Na razmatranim lokacija (Slavonski Brod, Županja) konstatirane su pojave sve ekstremnijih (minimalnih i maksimalnih) oborina i vodostaja Save. Upućuje to na nove izazove s kojima se suočavaju ovdašnji poljoprivrednici. Prevladavajuće godine smjenjuju se s izrazito sušnim, voda je sve nedostupnija (niže je pa je i ima manje te treba više energije za njeno crpljenje), a pojava poplavnih vodostaja moguća je tijekom cijele godine i sve je veća vjerojatnost za nju.

Zabrinjavajuća je i činjenica češće koincidencije opasnih savskih vodostaja (viših od zaobalja, koji izdižu podzemne vode) i obilnih oborina, registriranih u početku proljeća kada su ratarske kulture najranjivije na višak vlage u tlu. Sve elaborirane promjene su dobrodošle informacije za buduća planiranja i aktivnosti.

LITERATURA

- [1] A. Marrinović-Uzelac: Opći metodološki okvir izrade prostornih planova slivnih područja; Rijeka Sava – zaštita i korištenje; zbornik radova sa znanstvenog savjetovanja; 1989.; str. 505–515;
- [2] Sava; Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 22. 4. 2022. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=54730>;
- [3] Nacrt Plana upravljanja vodama za vodno područje rijeke Save u Federaciji BiH, 2022. – 2027.; Prateći dokument br.1. Karakterizacijski izvještaj, Dio 1.; Februar 2021.;
- [4] U. Schwarz: Sava Bijela knjiga; Rijeka Sava prijetnje i potencijal obnove; Sava White Book, The River Sava: Threats and Restoration Potential; FLUVIUS Floodplain Ecology and River Basin Management; Radolfzell / Wien: EuroNatur / Riverwatch, Austrija; 2016.; Studija je dio kampanje „Spasimo plavo srce Europe“ i projekta „Jačanje zaštite rijeke Save i njezinih poplavnih površina – SavaParks“;
- [5] Flood risk management plan for the Sava River Basin (Sava FRMP), (Nacrt, verzija 2,1); prosinac 2018.;
- [6] G. Gilja, E. Ocvirk, N. Kuspilić: Analiza zajedničke vjerojatnosti pojave velikih voda na ušćima primjenom bivarijatnih kopula; Građevinar 70 (2018) 4, str. 267-275;
- [7] S. Prohaska, A. Ilić: Koincidencija velikih voda Save i Drine, Hrvatske vode, 24 (2016) 95, str. 1-18;
- [8] M. Brilly, M. Šraj, K. Zabret, M. Primožič, A. Vihar, A. Vidmar: Utjecaj klimatskih promjena na poplave u slivu rijeka Bosne i Save; Zbornik radova, Simpozij Upravljanje rizicima od poplava i ublažavanje njihovih štetnih posljedica; ur. T. Šarić i V. Beus; Akademija Nauka i Umjetnosti Bosne i Hercegovine, Sarajevo, 2015., str. 89-97;
- [9] <https://www.hse.si/sl/skupina-hse/razvojni-projekti/>;
- [10] <https://www.gen-energija.si/investiramo-in-razvijamo/srednjesavske-elektrarne>;
- [11] M. Jukić: Rijeka Sava kao resurs u prostornom planiranju; Geoadria / znanstveni časopis Hrvatskog geografskog društva – Zadar i Odjela

3. BH Kongres o vodama / 3rd B&H Water Congress

za geografiju Sveučilišta u Zadru 13(1), lipnja 2008., str. 81-96;

- [12] Međunarodna komisija za sliv rijeke Save: Priručnik za plovidbu na rijeci Savi; Zagreb, 2014.;
- [13] DHMZ podatci, (<https://hidro.dhz.hr/>);
- [14] Maričić, S.: O razvoju tehničkih sustava na primjeru vodne regulacije Pobosuća, Zbornik radova, Plin 2017, 15. skup o prirodnom plinu, toplini i vodi, 8th International Natural Gas, Heat and Water Conference (8. međunarodni skup o prirodnom plinu, toplini i vodi); ur. Raos, P. i drugi, Osijek, 27.-29. rujna, 2017., str. 267-280;
- [15] Maričić, S.: Zaštita od suvišnih voda (dijela Jelas polja), Protection against excess water (part of Jelas Polje), Zbornik radova 19. Skupa i 12. međunarodni skupa o plinu, toplini i void PLIN 2021; Osijek, 22.-25. rujna 2021.; Raos, P. & all (ed.), Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Osijek (2021.); str. 98-107;





SESIJA 2 / SESSION 2

Inovacije u sanitaciji -
snovi ili stvarnost?

/

Sanitation innovations -
dreams or reality?

Dr. MSc. Damir Brđanović

IHE Delft Institute for Water Education
Westvest 7, 2611 AX Delft, The Netherlands
d.brdjanovic@un-ihe.org

AGS BH
UKI BH

3. BiH KONGRES
O VODAMA

Sanitation Innovations –
Dreams of Reality?

Damir Brdjanovic

maj 2022
Sarajevo
Bosna i Hercegovina



Nova
Vladina
ponuda ne
odgađa
prosvjed

BIJELI
uspjeli
izboriti bod

SLOBODNA DALMACIJA
HRVATSKA
Danas prilog
SPEKTAR

dr. DAMIR BRDANOVIĆ

BILL GATES
mi je za projekt
čiste vode dao
26 milijuna
dolara

SPEKTAR

PRICA O DR. SC.
DAMIRU BRDANOVIĆU

**ČOVJEK ZA ČIJE JE
IDEJE BILL GATES DAO
26 MILIJUNA DOLARA**

JOHN KARAVANIĆ, PREDSEDNIK UPRAVE "TANKERSKE NEXT GENERATION"
IZ ZADRA: BRODARI SU SLOŽNI - GRADNJA NOVIH BRODOVA NA CEKANJU

SPLITSKA A GALERINA GITA ŠARAVANJA NAKON GODINE NA AKADEMIJI "VAGANOV" U SANKT PETERSBURGU

Balet se živi apsolutno,
u Rusiji sam krvavo

Part 1: **The Shit Killer**
 Part 2: **eSOS Smart Toilet & MEDiLOO**
 Part 3: **DEMOS**
 Part 4: **Global Sanitation Graduate School**
 Part 5: **Integrated modelling**



Journal publications

- Mawioo, P.M., Garcia, H.A., Hooijmans C.M., Velkushanova, K., Simonić, M., Mijatović, I., Brđjanović, D. (2017) A pilot-scale microwave technology for sludge sanitization and drying, *Science of the Total Environment*, 601–602:1437–1448.
- Mawioo, P.M., Hooijmans, C.M., Garcia, H.A., Brđjanović, D. (2016) Microwave treatment of faecal sludge from intensively used toilets in the slums of Nairobi, Kenya, *Journal of Environmental Management*, 184:575–584.
- Mawioo P.M., Rweyemamu A., Garcia H.A., Hooijmans C.M., Brđjanović D. (2016) Evaluation of a microwave based reactor for the treatment of blackwater sludge, *Science of the Total Environment*, 548–549:72–81.
- Kocbek E, Garcia HA, Hooijmans CM, Mijatović I, Lah B, Brđjanović D. Microwave treatment of municipal sewage sludge: Evaluation of the drying performance and energy demand of a pilot-scale microwave drying system. *Science of The Total Environment* 2020; 742: 140541.
- Kocbek E, Garcia HA, Hooijmans CM, Mijatović I, Brđjanović D. Microwave treatment of municipal sewage sludge: Effects of the sludge thickness and sludge mass load on the drying performance. Submitted to *Journal of Environmental Management*, 2021.
- Kocbek E, Garcia HA, Hooijmans CM, Mijatović I, Kržišnik D, Humar M, Brđjanović D. Effects of the sludge physical-chemical properties on the microwave drying performance of the sludge. Submitted to *Journal of Science of The Total Environment*, 2021.
- Kocbek E, Garcia HA, Hooijmans CM, Mijatović I, Al-Addoud M, Dalalaz Z, Brđjanović D. Novel semi-decentralised mobile system for the sanitization and dehydration of septic sludge: A pilot-scale evaluation in the Jordan Valley. Submitted to *Journal of Environmental Science and Pollution Research*, 2021.

Glas Istre nezavisni dnevnik

INOVAČIJA BUZEČANA UREĐAJ ZA RJEŠAVANJE FEKALNOG MULJA MIKROVALNOM TEHNOLOGIJOM

SHIT KILLER uz potporu Billa Gatesa rješava otpadne vode

Uštedu na grijanju pojela pričuva od čak 800 kuma

Na Vinistri se izlaže rekordnih 627 uzoraka vina i pica

Rock and roll je medij koji je u jednom vremenu okupio najkreativnije ljude

Billa Gatesa oduševio je naš drek eliminator

RADE ČUDA OD KAKIKE Mikrovalnim načinom prerade hrvatski su inovatori i fekalije uspješni učiniti korisnima

PROFESOR IVAN MIJATOVIĆ I DAME BRĐJANOVIĆ OSMISLILI SU SHIT KILLER, INOVATIVNI UREĐAJ ZA RJEŠAVANJE ODPADNE VODE

ŠANONLJIVO VIDIŠE! PJEVA POPKOVIC MOJE KUMICE IMAO PRIMEBNE PLIMA

NOVAČ ZA DVAŽVINE

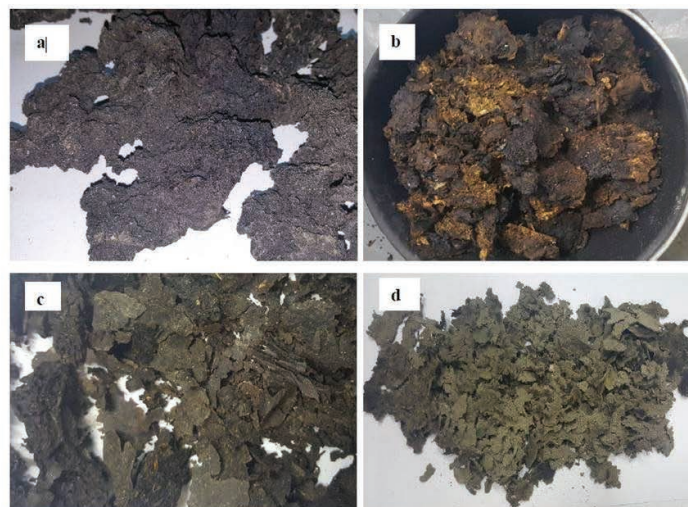
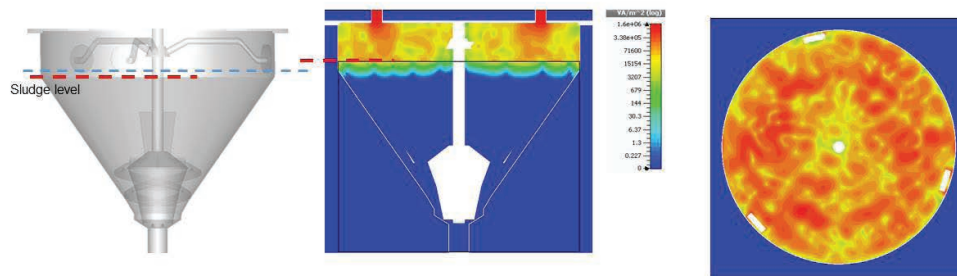


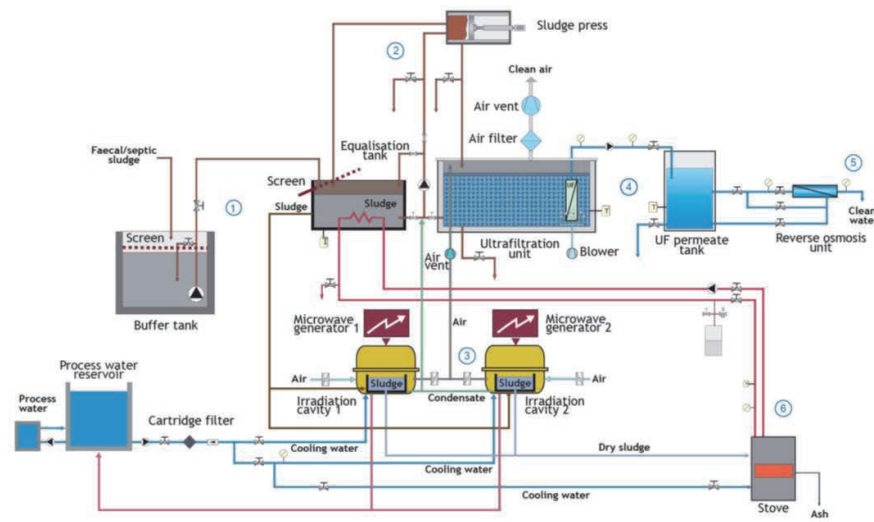
Figure 7-9. Irradiated samples; a) - Centrifuged waste activated sludge (C-WAS), b) - Faecal sludge (FS), c) - Non-centrifuged waste activated sludge (WAS), d) - Septic tank sludge (SS)

P.M. Mavrić et al. / Science of the Total Environment 548-549 (2016) 72-81

3. BH Kongres o vodama / 3rd B&H Water Congress

A novel approach to sludge treatment using microwave technology

Eva Kocbek



3. BH Kongres o vodama / 3rd B&H Water Congress

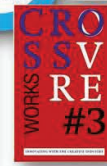




Rethinking Faecal Sludge Management in Emergency Settings

Decision support tools and smart technology applications for emergency sanitation

Fiona Zakaria



Step 1	Step 2	Step 3	Step 4
Select target group(s)	Select public health objective(s)	Select data and privacy policy	Select ethical concept
Pupils Schools	Acute snap shot screening	Personal and protected	Personal
Students Universities	Acute early warning epidemics	Personal with permission	National
Soldiers Military bases	Chronic longitudinal monitoring	Big data anonymous	General
Refugees Refugee camps			
Patients Field hospitals			
Families Households			
Citizens Public toilets			
Tourists Hotels and camps			
Religious gatherings Holy places			
...			

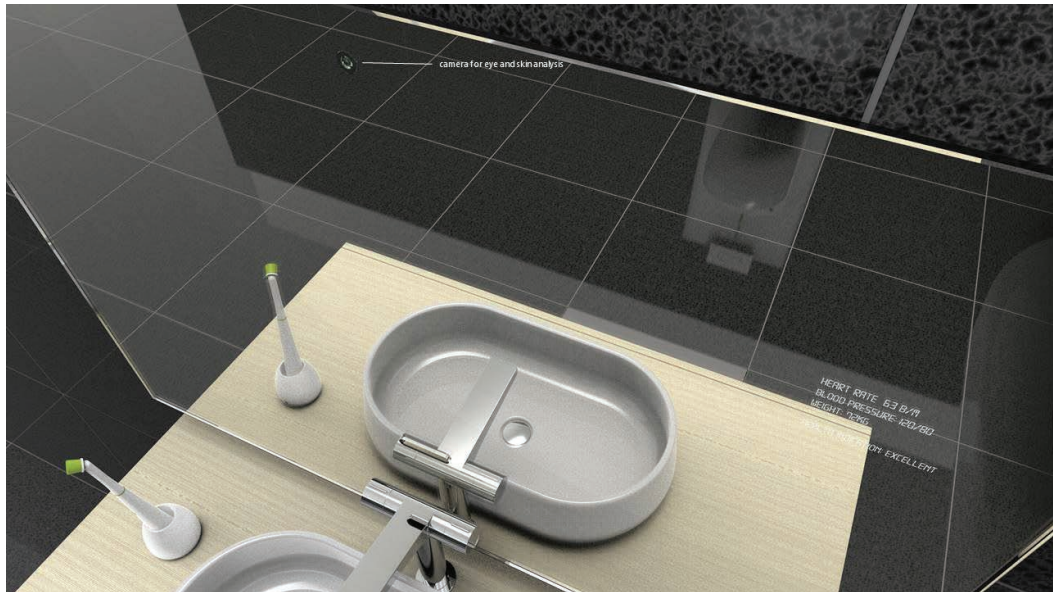
MEDILOO[®]
configurator

3. BH Kongres o vodama / 3rd B&H Water Congress

Step 5	Step 6	Step 7	Step 8
Select target disease(s)/condition(s)	Select symptom(s)	Select parameter(s) of interest	Select technology/method(s)
Malaria	Fever	Temperature	Sensors
Cholera	Diarrhoea	Stool	Optical identification cameras
Typhoid	Diarrhoea + blood	Stool Blood	Hyper-spectral cameras
Paratyphoid	Dehydration	Urine	U rinalysis Test strips
Dysentery	Hemoglobinuria	Blood	Lab on the chip technology
Tuberculosis	Hypoglycemia	Heart beat	...
Influenza	Slow pulse	Wight Length	
Trachoma	Fast pulse	Eye lid	
Worm infection	Red eyes	Eye white	
Hepatitis	Swollen eyelids	Skin	
Malnutrition	Eyelid discharge	...	
Underdevelopment	Loss of weight		
Obesity	Jaundice		
Anaemia	Yellow eyes		
...	Brown urine		
	Light stool		
	Overweight		
	Underweight		
	...		

MEDILOO[®]
configurator





3. BH Kongres o vodama / 3rd B&H Water Congress



HEALTH-MONITORING DEVICES
A personalized view of excreta
 Biomarkers of health and disease in urine and stool can be longitudinally tracked with a 'smart' toilet incorporating biometric identification, pressure and motion sensors, urinalysis strips and a workflowmeter.
 Damir Brdjanovic

A toilet at home may be convenient for the longitudinal monitoring of health, and could eventually aid the prevention and earlier detection of disease. In their present form, toilets have been used for decades only in recent years have they opened the imagination of excretors (as part because of the Internet the Toilet Challenge, spearheaded by the Bill & Melinda Gates Foundation, which has resulted in dozens of inventions primarily focused on improving the user interface and on integrating the treatment of excreta in the toilet structure). Specific attempts to create residential facilities with new, intuitive devices for the passive monitoring of their users' health have employed readily available medical appliances (such as measurements, blood pressure monitors, weight scales and computer aided image analysis of the toilet stream). For data analysis, the authors incorporated a pressure sensor in the toilet seat to sense the potential defecation event, during which the camera in the toilet captures images of the seat, which in their simplified form machine learning performed on the cloud server) according to the standard of care diagnostic tool designed to classify the feces of human faces (the same captures on the basis of its morphology and liquidity) stool sleeping time after sitting and total defecation time are also measured. To identify the user, the toilet incorporates biometric identification via a fingerprint sensor on the flush lever and two camera based recognition of unique crown patterns and full patterns of the excretions (the skin around the rectum).

Over the course of one month, the monitoring of urine from two research participants provided proof-of-concept evidence that image based urinalysis is an accurate method for determining uric-acidemia, and that grip risk urinalysis and direct spraying rate for enteric result in similar outcomes (which indicated long-term urinary tract infection in one of the participants). The determination of baseline values made use of calibration with well defined synthetic urine. Stool

standard (colometric assays) for ten biomarkers (levels of bilirubin, erythrocytes, glucose, bacteria, leukocytes, uric acid, protein and achilangin, as well as pH and specific gravity), and an image based workflowmeter for the quantitative analysis of variation flow. The presence of urine flow activates a motion sensor, which triggers the movement of the spray nozzle that has an auto density exposed to the urine spray. After retraction of the spray cartridge, the collection of excretions on the dry air are recorded by a high definition camera for up to 100 seconds. The recordings are transmitted to cloud storage and processed via image analysis. Workflowmeter data (including urine flow, flow velocity, voided volume, time for treatment flow of urine and total variation time) are also processed via computer aided image analysis of the toilet stream. For data analysis, the authors incorporated a pressure sensor in the toilet seat to sense the potential defecation event, during which the camera in the toilet captures images of the seat, which in their simplified form machine learning performed on the cloud server) according to the standard of care diagnostic tool designed to classify the feces of human faces (the same captures on the basis of its morphology and liquidity) stool sleeping time after sitting and total defecation time are also measured. To identify the user, the toilet incorporates biometric identification via a fingerprint sensor on the flush lever and two camera based recognition of unique crown patterns and full patterns of the excretions (the skin around the rectum).

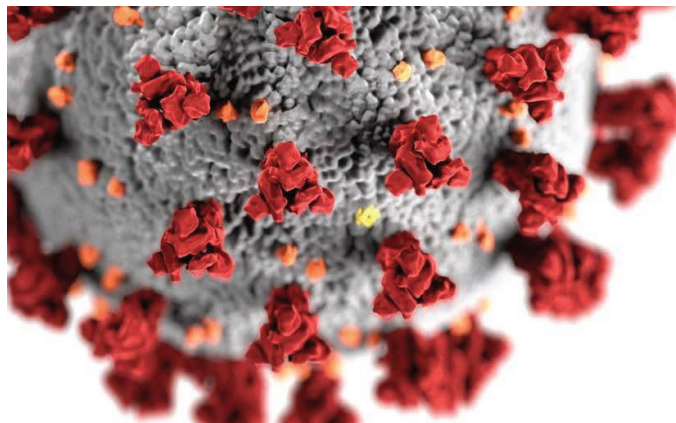
Over the course of one month, the monitoring of urine from two research participants provided proof-of-concept evidence that image based urinalysis is an accurate method for determining uric-acidemia, and that grip risk urinalysis and direct spraying rate for enteric result in similar outcomes (which indicated long-term urinary tract infection in one of the participants). The determination of baseline values made use of calibration with well defined synthetic urine. Stool



Fig. 1 | A toilet system for personalized health monitoring and the analysis of excreta. A pressure sensor (1) placed below the toilet seat detects when a user is sitting, used to determine defecation parameters such as collection frequency and camera (2) capture of back A pressure-based motion sensor (3) detects the beginning of excretion. Urine chemically analyzed via test strips on a substrate cartridge (4) and through computer vision image analysis from data captured by the high speed camera (5). Stool is classified via machine learning applied to images from the stool camera (6). A sensor that detects full and creates patterns in the excretions and used for biometric identification (7) identified, the user's particular flow (8) appears as a unique identified (9) the toilet's flush lever and (10) the toilet's crown (the skin around the rectum). Figure reproduced from ref. 7. Springer Nature Limited.

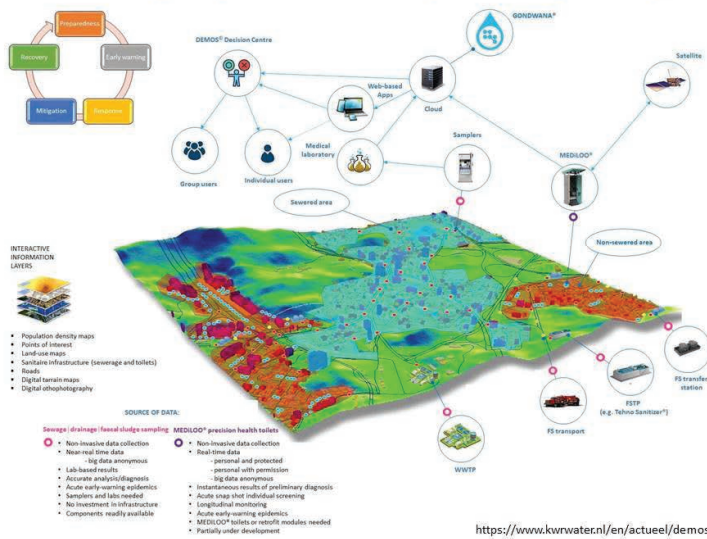


nature
 biomedical
 engineering
 Pathogen detection
 on a fidget spinner



DEMOS

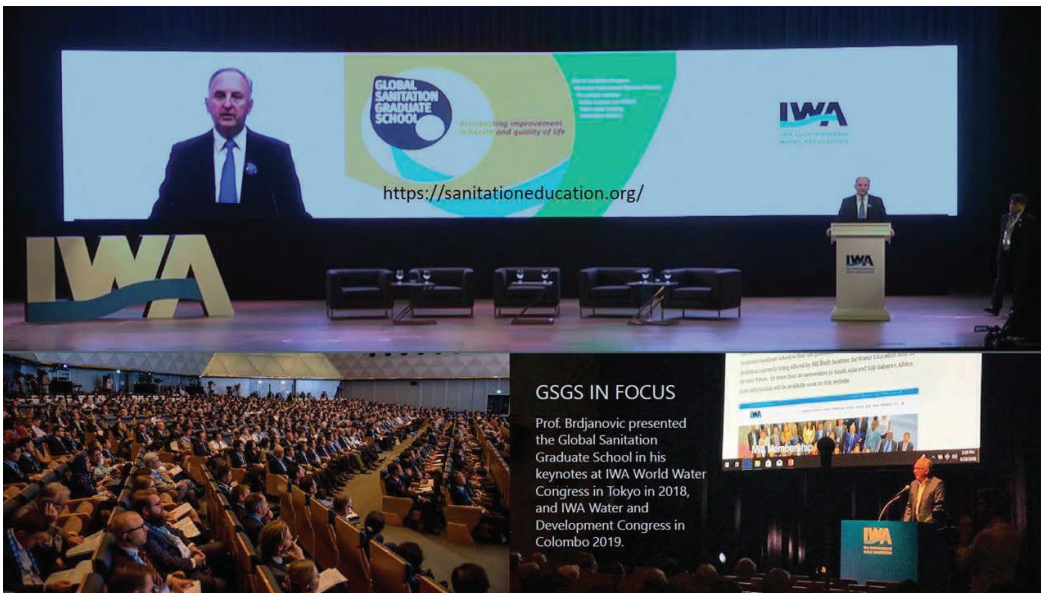
DEMOS®: Digital Epidemic Observatory and Management System®



UNESCO
 IHE
 DELFT
 United Nations
 Institute for
 Water Education
 in partnership with UNESCO

KWR Watercycle
 Research
 Institute

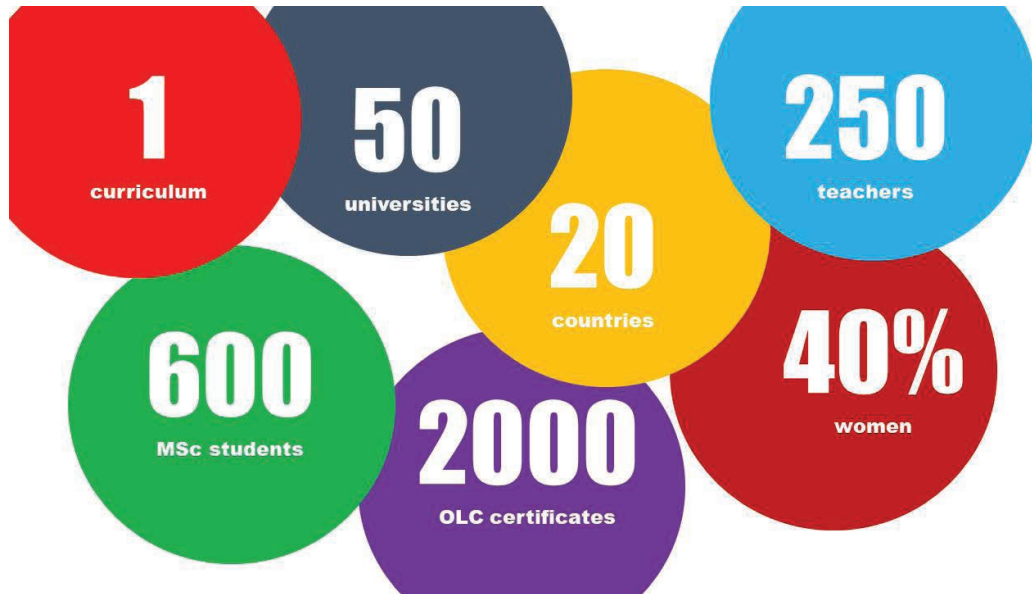
<https://www.kwrwater.nl/en/actueel/demos-digital-epidemic-observatory-and-management-system/>



Global Sanitation Graduate School

World's largest mechanism for capacity development in CWIS





ALUMNI IMPACT



"I realized that all the things I learned during my study are now applicable in the field."



"Behavior change course is invaluable in my current work in eliminating open defecation in Pakistan."



"Knowledge gained on sanitation financing is the subject of my mentoring program with the youth."



"I am making use of WASH in emergencies course in coordinating COVID-19 response in schools."



"After studying in an international setting, it was easy for me to adopt to work in Asia."

Ziggy Kugedera (Zimbabwe)

ALUMNI IMPACT STORIES



"Transferable skills I learned at IHE Delft are helping me a lot in my PhD research on faecal sludge treatment."



"Thanks to GSGS, I have an important role in transferring the Delft-based CWIS curriculum to my university."

Prajakta Patil (India)



"After graduation I became responsible for CWIS plan for 5 cities in Afghanistan"



"I used the knowledge from both thought and research part of my study in a real life settings."

Farhad Safi (Afghanistan)

ALUMNI IMPACT STORIES



"I tested a novel eSOS Smart Toilet in Tacloban, Philippines supported by ADB and BMGF."



"My research in Kenya made significant contribution to the development of a toilet for emergencies."

Fiona Zakaria (Indonesia)



"I initiated construction of the Sanitation Research Centre at Meru University."

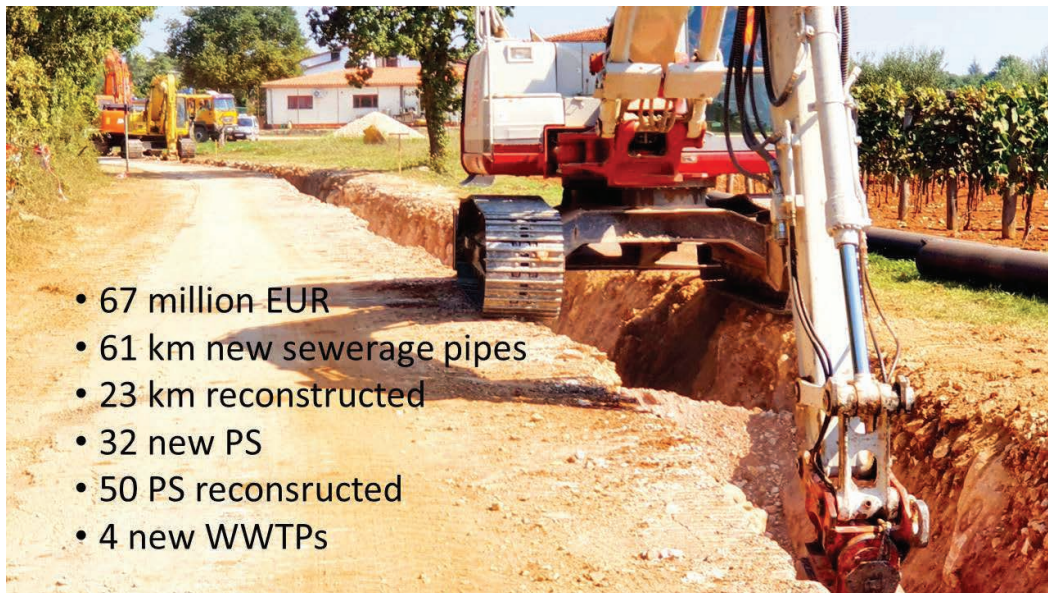
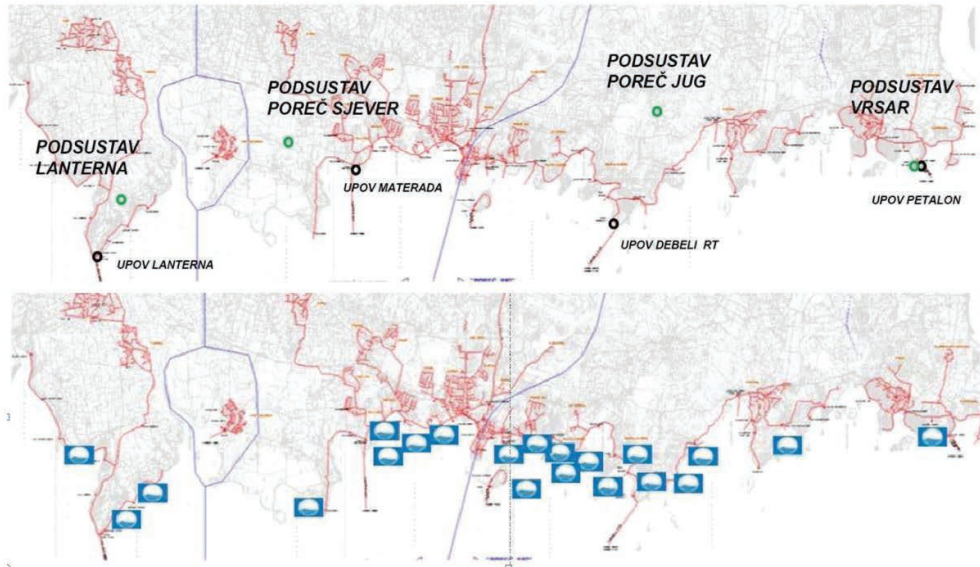


"As a dean of the faculty, I am committed to deliver at least 200 MSc graduates in CWIS under the GSGS framework."

Joy Riungu (Kenya)

www.sanitationeducation.org





3. BH Kongres o vodama / 3rd B&H Water Congress



MODEL-BASED STUDY

- Sewerage system (4 catchments)
- Wastewater Treatment Plants (4 plants)
- Coastal sea (23 km)

MODELLING SCENARIOS PROJEKT POREČ

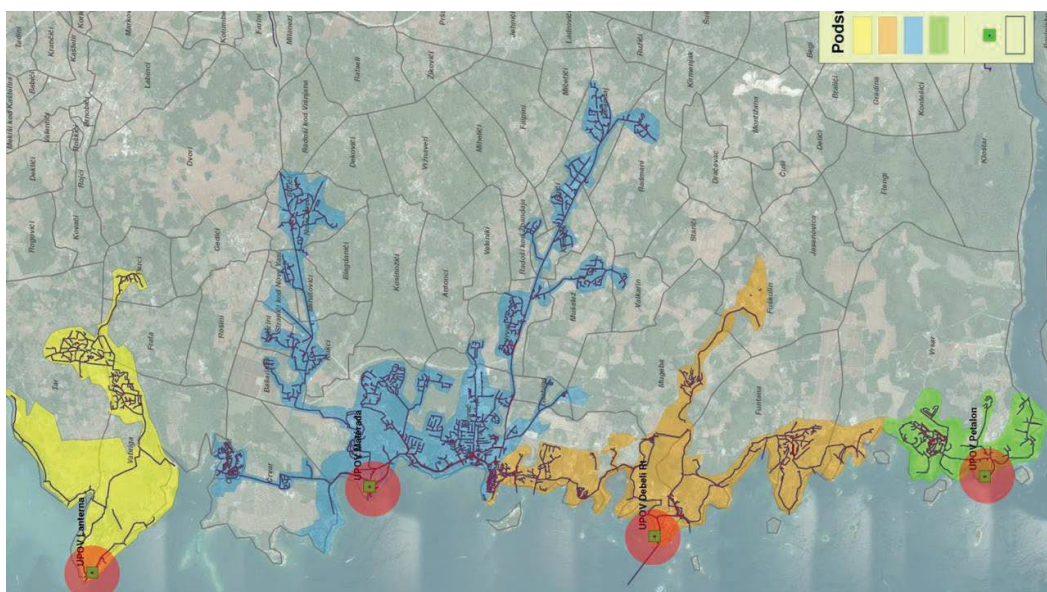
- Four sub-catchments will be modelled each including two sub-systems - sewerage network and wastewater treatment plant (WWTP). The third sub-system - coastal seawater quality will be modelled as one common system for all four sub-catchments.
- Two main seasons will be taken into account – summer (high) season and winter (low) season.
- Two main situation with regard to WWTP will be considered – with WWTP in operation and without (NOT).
- For operational WWTPs two scenarios will be studied – with 100% reuse of treated effluent (TER) and with emergency discharge of treated effluent into the sea (OED).
- In summary, there will be 4 different model simulations for sewerage system, WWTP and seawater quality for each of 4 sub-catchments.
- And several worst case sub-scenarios for seawater quality modelling will be carried out in emergencies when one or more plants are out of operation during high season

Sc.	Season	TER/OED/NOT	Flow/Load	Sewerage	WWTP	Sea	Comment
S1	Summer	TER	Max	■	■	X	No need to model sea due to 100% reuse of the effluent
S2		OED				■	■
S3		NOT	Min	■	■	X	High risk on the sea due to no treatment and max flow/load (scenarios S3.1-S3.5)
S4		TER/OED				■	■
W1	Winter	TER	Max	■	■	X	No need to model sea due to 100% reuse of the effluent
W2		OED				■	■
W3		NOT	Min	■	■	X	Medium risk impact on the sea due to less flow/load and winter – no bathing
W4		TER/OED				■	■

TER: Treated Effluent Reuse

OED: Offshore Emergency Discharge

NOT: No Treatment (Note: Seawater modelling in this high risk case will examine 4 sub-scenarios: S3.1 – S3.4, one WWTP out of operation at the time, and one worst case scenario: S3.5 with all 4 WWTP out of operation simultaneously, with optional dynamic simulation of day/night conditions, depending on data available).



Catchments info

Catchment	Area (ha)	# manholes	# pipes	Length pipes (m)	# pumping stations
Lanterna	443	1 065	1 115	35 433	18
Poreč Jug	820	1 577	1 724	65 217	26
Poreč Sjever	1 318	4 641	4 924	155 284	37
Vrsar	298	855	885	21 174	7
	2 879	8 138	8 648	277 108	88

Scenarios modelling

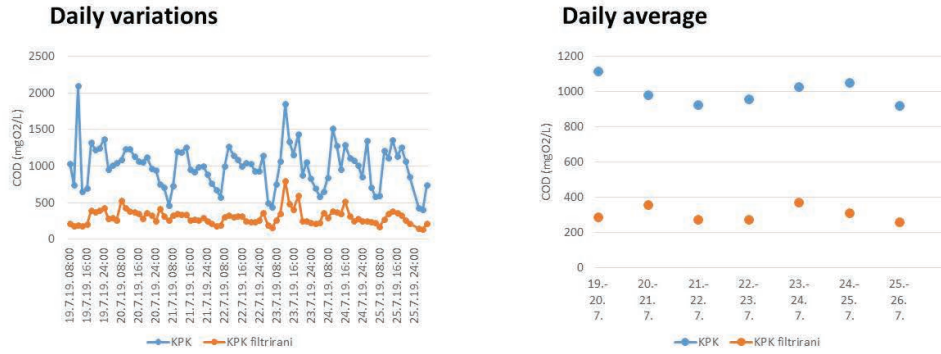
- Two models – 2022 and 2045 situation
- Four scenarios for each model – for each model minimum and maximum load for winter and summer period

3 sampling campaigns

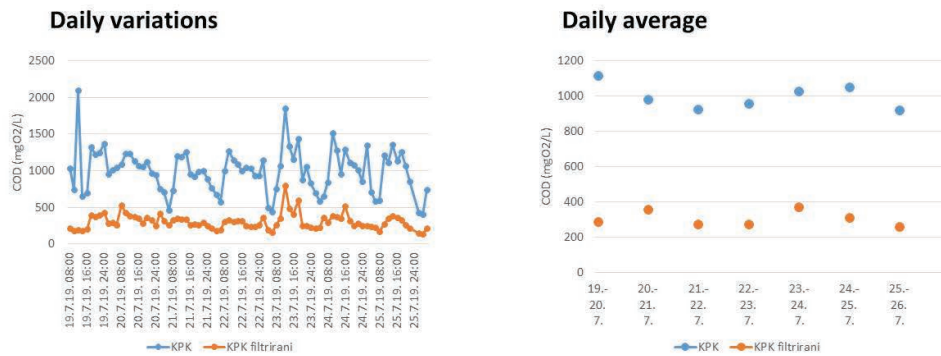
2 without WWTPs + 1 with WWTPs

- January 2019: 7-days at location of seawater discharge (336 samples)
- July 2019: 7-days at location of seawater discharge (336 samples)
- January 2022: 4-days at location of WWTPs (in and out) (96 samples)
- 15 parametars
- > 10,000 analysis
- + >400 analysis of seawater quality

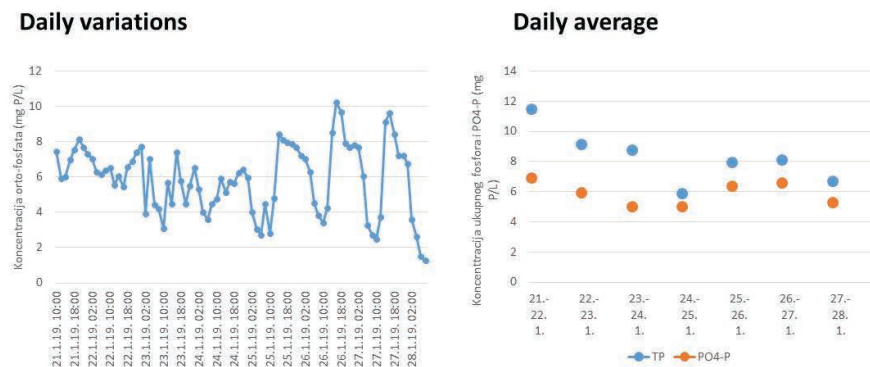
COD @ Poreč North – Summer 2019



COD @ Poreč North – Summer 2019

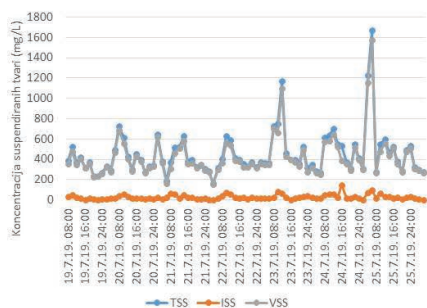


P @ Vrsar – Summer 2019

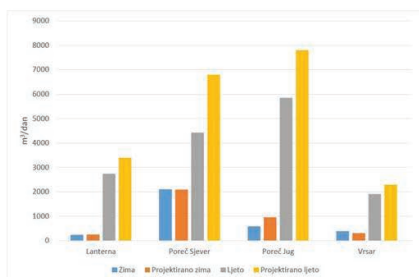
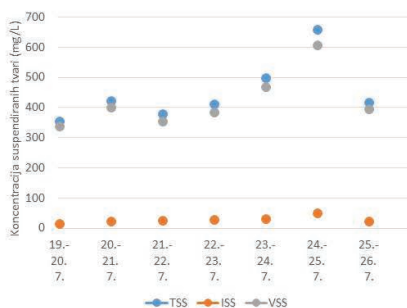


SS @ Lanterna – Summer 2019

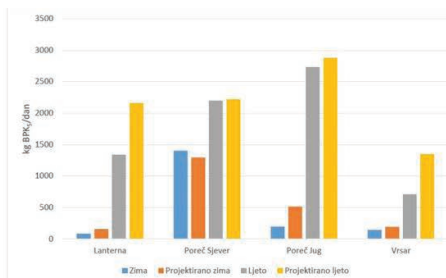
Daily variations



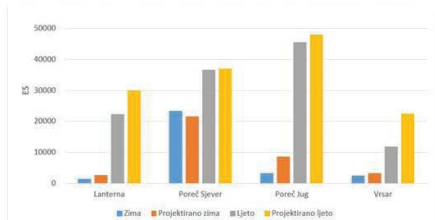
Daily average



Slika 74. Usporedba srednjih dnevnih protoka za zimski i ljetni period s projektiranim vrijednostima



Slika 75. Usporedba srednjih dnevnih opterećenja s BPK₅ za zimski i ljetni period s projektiranim vrijednostima



Slika 76. Usporedba srednjih dnevnih opterećenja izraženih kao ekvivalent stanovnika za zimski i ljetni period s projektiranim vrijednostima

Comparison measured (winter/summer 2019) and design values for 4 WWTPs.

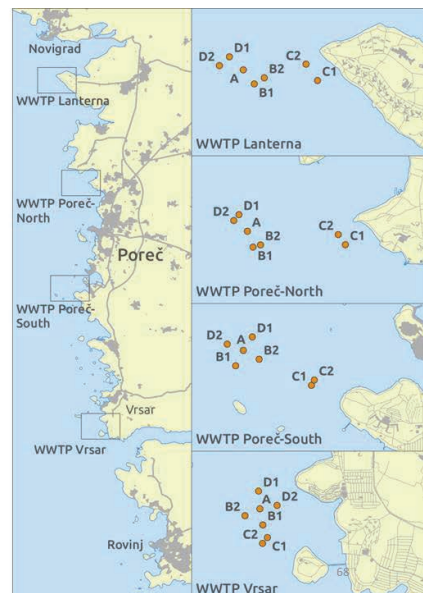
Removal efficiency vs standards (@ start-up)

WWTP	COD	BOD ₅	TSS	TP	TN
Lanterna	✗	✗	✓	✓	✗
Poreč Sjever	✓	✓	✓	✓	✗
Poreč Jug	✓	✓	✓	✓	✓
Vrsar	✓	✓	✓	✓	✓

- Typical concentrations and daily variations of all measured parameters
- COD load and flow in line with design
- Winter : Summer load
 - Lanterna: 1 : 15
 - Poreč North: 1 : 2
 - Poreč South: 1 : 10
 - Vrsar: 1 : 5
- WWTPs already at the start-up satisfy most of discharge standards
- There is limited seawater infiltration in the sewer system (EC)

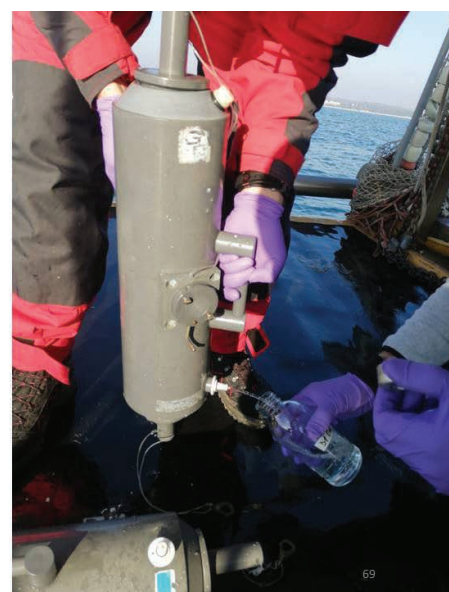
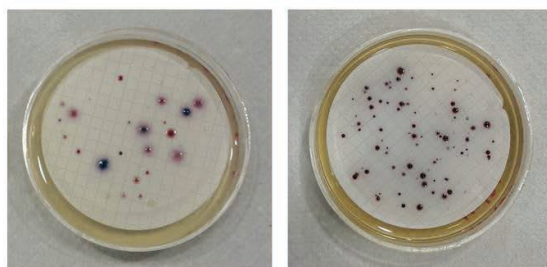
Sampling locations

- winter and summer 2019 + winter 2022
- sewage at location of discharge (in 2019 - no WWTPs)
- influent and effluent (in 2022 – WWTPs)
- seawater
 - A – off-shore discharge
 - B – 150 m direction currents
 - C – 300 m from the coastline
 - D – 150 m opposite from B



Indicators of faecal pollution

- *Escherichia coli* and coliforms
- Intestinal enterococci
- 410 samples



Results

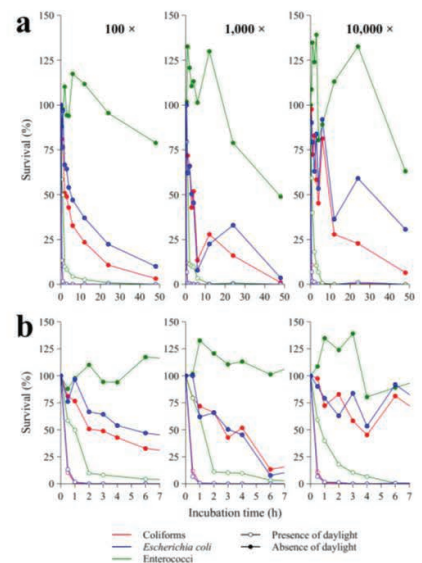
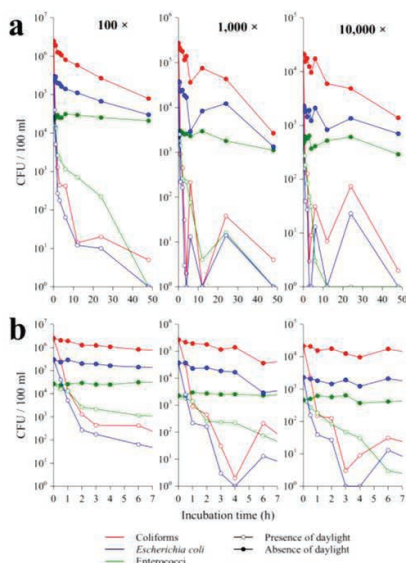
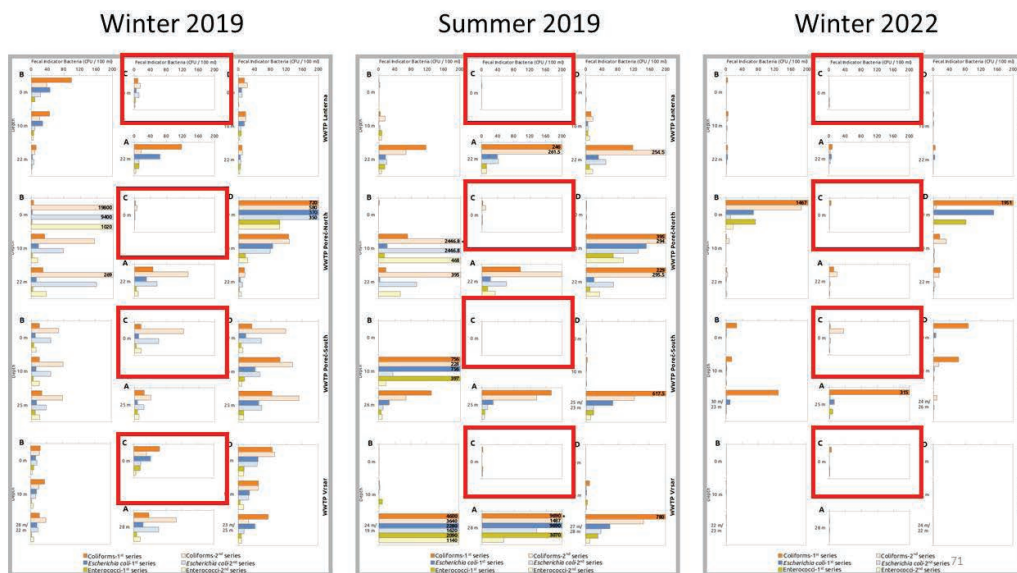
Sewage

- Coliforms: $10^7 - 10^8$ CFU/100 ml
- *Escherichia coli*: $10^6 - 10^7$ CFU/100 ml
- Intestinal enterococci: $10^5 - 10^6$ CFU/100 ml

Influent and effluent after WWTP start-up

WWTP	Coliforms		<i>Escherichia coli</i>		Intestinal enterococci	
	Influent (CFU / 100 ml)	Effluent (CFU / 100 ml)	Influent (CFU / 100 ml)	Effluent (CFU / 100 ml)	Influent (CFU / 100 ml)	Effluent (CFU / 100 ml)
Lanterna	1.23×10^8	0	1.06×10^7	0	2.39×10^6	0
Poreč-North	1.69×10^8	2.19×10^5	1.14×10^7	8.10×10^3	1.78×10^6	1.50×10^3
Poreč-South	2.39×10^8	1.86×10^5	1.38×10^7	7.70×10^3	1.44×10^6	1.09×10^3
Vrsar	1.82×10^8	3	1.77×10^7	1	2.08×10^6	1.78×10^2

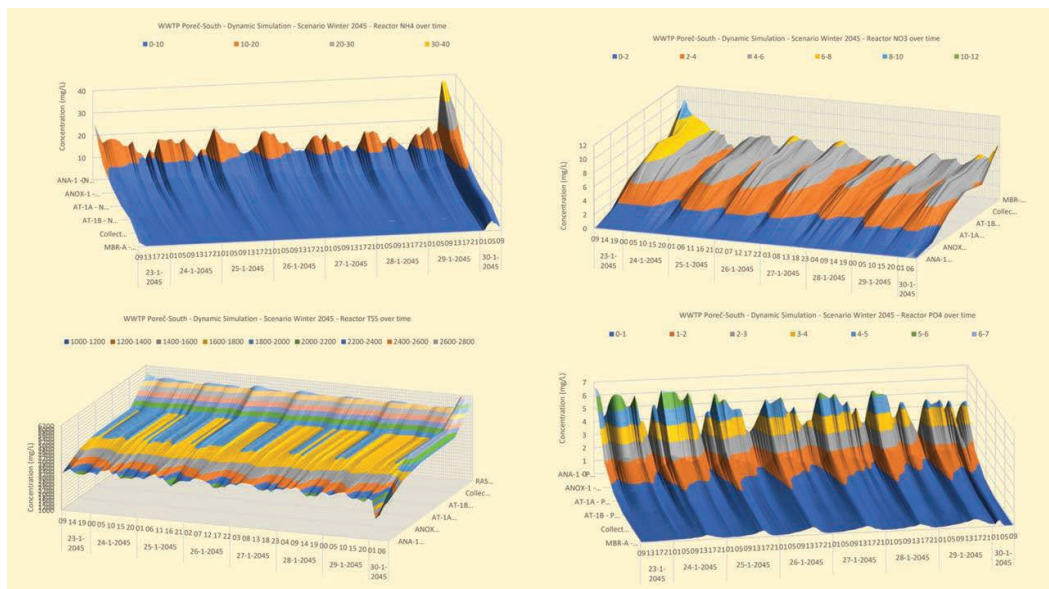
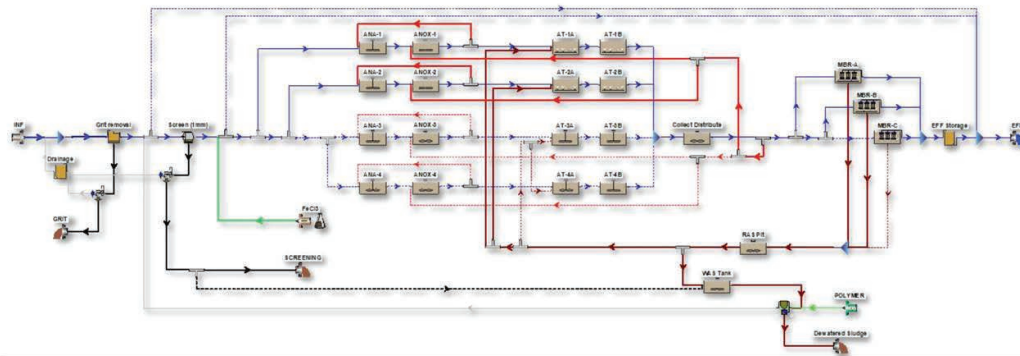
70

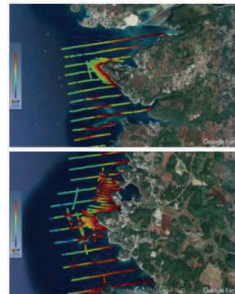


2

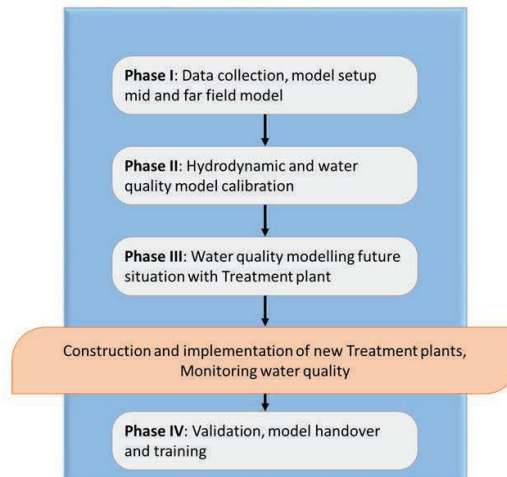
APPROACH

- 4 WWTPs modelled separately
- Static model based on design documentation
- Calibration based on winter/summer 2019 data
- Scenario 2045
- Validation based on winter 2022 data



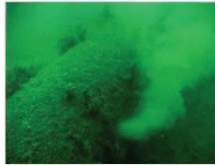


Introduction



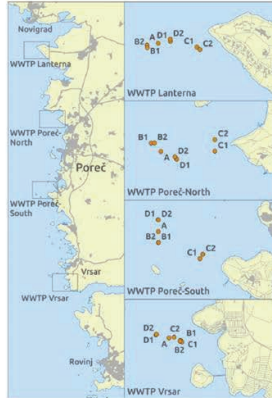
Model calibration – water quality: inputs

Outfall characteristics

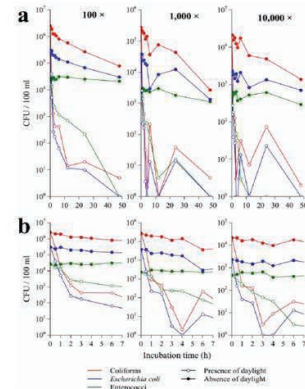


Water quality measurements:

- Conc FB in sewage system (source)
- Conc FB in coastal system (calibration)

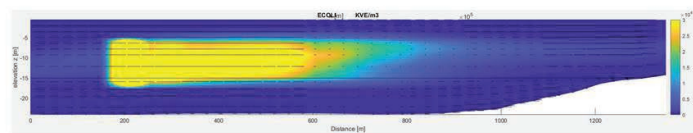
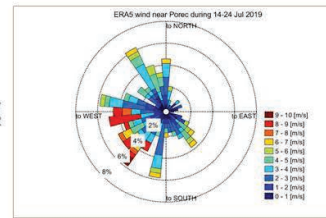
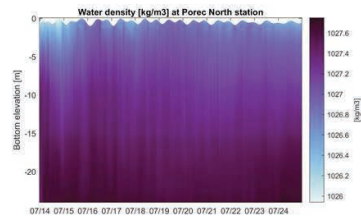
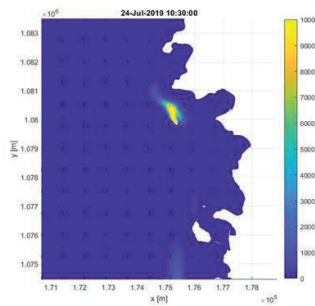


Decay experiments



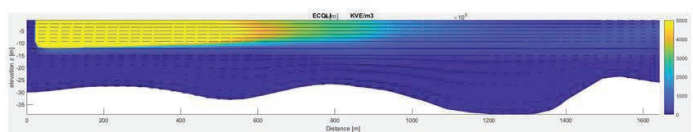
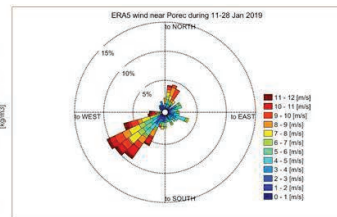
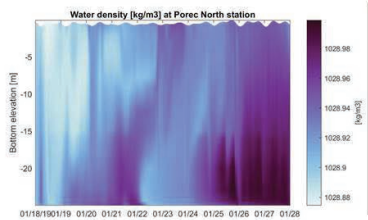
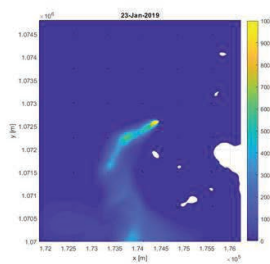
Water quality calibration

- Summer



Water quality calibration

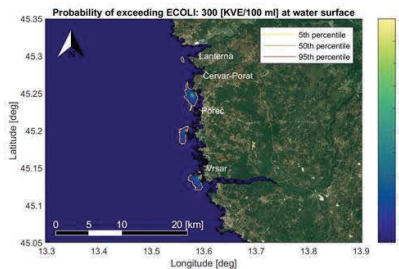
- Winter



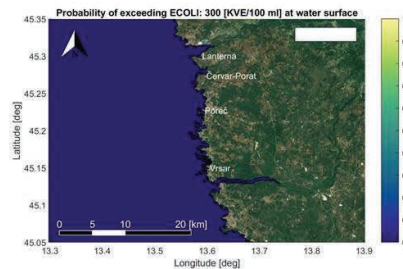
Scenario modelling: **summer**

Probability of exceeding water quality criterion of E Coli bacteria

- Unfiltered effluent, WWTP some risks of exceedences, more than summer where the stratification keeps the bacterial plume in deeper water layers
- Filtered effluent, WWTP in operation: no risk anymore



Non-treated sewage 2019
WWTP not in operation



WWTP effluent 2022
WWTP in operation

4-Mar-22 / Water quality modelling / slide 21

GENERAL CONCLUSIONS

- The study clearly shows the effects of investments = protection of seawater quality
- Application of models allow for evaluation of designs as well as for scenarios analysis
- Modelling study provides new insights
- Models will be used by local staff for regular monitoring and evaluation
- Results to be used for dissemination and general public info

RECOMMENDATIONS

- Execution prior design and verification after completion of investments
- To become standard approach in the investment practice
- Expand to real-time simulations with all models running in the same time and connected to each other



Razvojni projekti Češke Republike u sektoru vode u Bosni i Hercegovini

/

Development projects of the Czech Republic in the water sector in Bosnia and Herzegovina

Štěpán Šantrůček

Rukovodilac odsijeka za razvojnu saradnju
Ambasade Republike Češke u Bosni i Hercegovini

Bosna i Hercegovina je jedan od najznačajnijih partnera i jedna od šest prioritarnih država razvojne saradnje Republike Češke. U proteklih više od 20 godina karakter te saradnje se promijenio od humanitarne pomoći Republike Češke, preko poslijeratne rekonstrukcije sve do današnje podrške stabilnosti i uspješne integracije Bosne i Hercegovine u Evropsku uniju. Prenos češkog iskustva u demokratskim promjenama i ulaskom u EU u 2004. godini, zajedno sa dubokom istorijskom, kulturnom i jezičkom bliskošću dviju zemalja, stvaraju dodatnu vrijednost svih čeških projekata. Trenutno je u fazi implementacije program razvojne saradnje Republike Češke i BiH za period 2018.-2023., koji predstavlja odgovarajuću kombinaciju definisanih razvojnih potreba BiH i oblasti u kojima Češka može ponuditi svoju dodatnu vrijednost, tehničku ekspertizu i specifična iskustva. Prioritetni sektori saradnje Republike Češke u BiH su:

- ▶ *Ekonomski rast, sa naglaskom na energije iz obnovljivih izvora – grijanje biomasom, solarni kolektori za zagrijavanje tople vode, geotermalna energija*
- ▶ *Održivo korištenje prirodnih izvora – zaštita, korištenje i razvoj izvora vode, dostupnost i kvalitet vode za piće, obnova izvora vode, eliminacija zagađenja, tretman otpadnih voda*
- ▶ *Dobro demokratsko upravljanje – efektivne, odgovorne i transparentne institucije na svim nivoima javne uprave*

Jedan od primjeraka projekata u sektoru vode predstavlja projekat „Rekonstrukcija postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u Gradačcu“. Češka je u periodu 2015.-2018. godine modernizirala, proširila i povećala pouzdanost sistema za prečišćavanje otpadnih voda u Gradačcu, čime je u znatnoj

mjeri pomogla da se smanji zagađenje površinskog toka rijeke Gradašnice industrijskim i komunalnim otpadnim vodama. Došlo je do podizanja kvaliteta života građana u ovom regionu i istovremeno do daljeg razvoja industrije u regionu u skladu sa ciljevima zaštite životne sredine. Istovremeno se u školama u regionu izvodila edukativna kampanja s naglaskom na neophodnost zaštite izvora čiste vode.

Također, Češka Republika se pridružila ostalim donatorima koji finansiraju projekat pod nazivom MEG (Municipal Environmental Governance Project), koji se bavi upravo jednim od prioritarnih polja rada češke razvojne saradnje, a to je voda i sanitacije. Naime, projekat se u svojoj drugoj fazi fokusira na podršku 31 lokalnoj zajednici širom BiH na putu ka postizanju odgovornog i održivog menadžmenta u sektoru voda.

Češka razvojna agencija sa sjedištem u Pragu upravlja bilateralnim projektima Republike Češke u prioritarnim sektorima. Na web stranici www.czechaid.cz se redovno objavljuju tenderi u vidu subvencije ili javne nabavke za isporuku robe, usluga i radova za svaki projekat u trajanju od 1-3 godine.

Zahtjev za projekat mogu podnositi državni organi na centralnom, regionalnom ili lokalnom nivou, organi lokalne samouprave, lokalne nevladine organizacije i institucije, istraživačke i druge institucije u BiH. Projektne prijedloge neprekidno prikuplja Ambasada Republike Češke u Sarajevu i ocijenivani su od strane stručnjaka u Pragu. Implementacija projekata se odvija u vidu a) javne nabavke (međunarodni tender) b) subvencije (nedržavni neprofitni subjekat registriran u Češkoj) c) budžetske mjere (državni subjekti registrirani u Češkoj). Pozivi se redovno objavljuju na web stranici Češke razvojne agencije.

Bosnia and Herzegovina is one of the most important partners and one of the six priority countries of Official Development Cooperation of the Czech Republic. In the past more than 20 years, the nature of the cooperation has changed from humanitarian aid within the post-war reconstruction, to today's support for the stability and successful integration of Bosnia and Herzegovina into the European Union. The transfer of the Czech experience in democratic changes and entry into the EU in 2004, together with the deep historical, cultural and linguistic closeness of the two countries, create added value for all Czech projects.

The development cooperation program of the Czech Republic and BaH for the period 2018-2023 is currently in the implementation phase and represents an appropriate combination of the defined development needs of BaH and areas where the Czech Republic can offer its added value, technical expertise and specific experiences.

Priority sectors of cooperation of the Czech Republic in Bosnia and Herzegovina are:

- ▶ Economic growth, with an emphasis on energy from renewable sources - heating with biomass, solar collectors for heating hot water, geothermal energy.
- ▶ Sustainable use of natural sources - protection, use and development of water sources, availability and quality of drinking water, restoration of water sources, elimination of pollution, waste water treatment.
- ▶ Good democratic governance - effective, accountable and transparent institutions at all levels of public administration.

One of the examples of a project in the water sector is the "Reconstruction of Wastewater Treatment Plant in Gradačac". In the period 2015-2018, the Czech Republic modernized, expanded and increased the capacity of the

wastewater treatment system in Gradačac, which significantly helped to reduce the pollution of the surface course of the Gradašnica River by industrial and communal wastewater. The quality of life of citizens in this region has increased and at the same time further development of industry in the region in accordance with the goals of environmental protection has occurred. At the same time, an educational campaign was implemented in schools in the region with an emphasis on the necessity of protecting clean water sources. The Czech Republic has also joined other donors who finance the project called MEG (Municipal Environmental Governance Project), which is also focused on water and sanitation. Namely, in its second phase, the project focuses on supporting 31 local communities across BiH on the way to achieving responsible and sustainable management in the water sector.

The Czech Development Agency, based in Prague, manages bilateral projects of the Czech Republic in priority sectors. The website www.czechaid.cz regularly publishes tenders in the form of subsidies or public procurement for the delivery of goods, services and works for each project lasting 1-3 years.

Project proposals can be submitted by state bodies at the central, regional or local level, local self-government bodies, local non-governmental organizations and institutions, research and other institutions in BiH.

Project proposals are continuously collected by the Embassy of the Czech Republic in Sarajevo and evaluated by experts in Prague. Projects are implemented in the form of a) public procurement (international tender) b) subsidies (non-state non-profit entity registered in the Czech Republic) c) budget measures (state entities registered in the Czech Republic). Calls are regularly published on the website of the Czech Development Agency.

P rojekat BiH ESAP 2030+

/

P roject B&H ESAP 2030+

Peter M. Rudberg, PhD GeoViable

Córdoba, Spain
peter.rudberg@geoviable.org

Selma Čengić, PhD

Hydro Engineering Institute
Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
selma.cengic@heis.ba

Svjetlana Lolić, PhD

University of Banja Luka
Banja Luka, Bosnia and Herzegovina
svjetlana.lolic@pmf.unibl.org

Amar Čaušević, MA

Stockholm Environment Institute
Stockholm, Sweden
amar.causevic@sei.org

Bernardas Pedegimas, MSc

Stockholm Environment Institute
Stockholm, Sweden
bernardas.padegimas@sei.org

Kako bi otvorila zvanične pristupne pregovore sa Evropskom unijom, Bosna i Hercegovina se složila da transponuje ekološku pravnu stečevinu EU (akumulirano zakonodavstvo) u pravni okvir zemlje i da u skladu s tim prilagodi svoj administrativni sistem. U skladu sa ovim radom, izrada projekta Razvoj strategije i akcionog plana zaštite okoliša (BiH ESAP 2030+) podržava razvoj ekološke strategije i akcionog plana za cijelu zemlju koji se sastoji od četiri strategije nadležnosti i akcionih planova. Proces i konačni strateški dokument imaju za cilj da doprinesu jačanju ekoloških okvira u zemlji s glavnim ciljem njihovog usklađivanja sa zakonima i procedurama Evropske unije. Upravljanje vodama je jedno od tematskih područja obuhvaćenih BiH ESAP 2030+. Razvijanje komponente upravljanja vodama u projektu, primjenom participativnog pristupa, bilo je i izazovno i ohrabrujuće. Pitanja povećanja snage javne uprave; upravljanje i ublažavanje negativnog uticaja politika drugih sektora na vodu; i mobilizacija i efikasno korištenje ekonomskih resursa za osnovnu vodnu infrastrukturu su tri pitanja visokog prioriteta o kojima razgovaramo u sklopu izrade strategije. Srednjoročno, projekat je osmišljen da unaprijedi upravljanje vodama, kao i da doprinese ukupnom napretku u procesu pridruživanja Bosne i Hercegovine Evropskoj uniji.

Key words

Upravljanje vodama, ekološka strategija, akcioni plan, participativni pristup

To open official accession negotiations with the European Union, Bosnia and Herzegovina agreed to transpose the EU's environmental acquis (accumulated legislation) into the country's legal frameworks and to adapt its administrative system accordingly. In line with this work, the development of Development of the Environmental Strategy and Action Plan (BiH ESAP 2030+) project supports the development of a countrywide environmental strategy and action plan composing four jurisdiction strategies and action plans. The process and final strategy document aim to contribute to strengthen the country's environmental frameworks with the main objective of aligning them with European Union laws and procedures. Water management is one of the thematic areas covered in BiH ESAP 2030+.

Developing the water management component in the project, applying a participatory approach, has been both challenging and encouraging. The issues of increasing the strength of public administration; managing and mitigating other sector policies' negative impact on water; and mobilizing and making efficient use of economic resources for basic water infrastructure are three high priority issues that we discuss as part of the strategy development. In the medium-term, the project is designed to improve water management as well as contribute to overall progress in the process of Bosnia and Herzegovina becoming a member of the European Union.

Key words

Water management, environmental strategy, action plan, participatory approach

Bosnia and Herzegovina (BiH) has been recognized by the European Union (EU) as a “potential candidate country” for accession since the decision of the European Council in Thessaloniki in 2003.¹ The country officially applied for EU membership in 2016.² However, BiH’s EU accession process was characterized by many socio-economic and political challenges, including environmental issues.

When it comes to the environmental challenges, the country faces significant problems such as deadly air pollution during winter months, dependency of the energy generation system on coal as the primary resource, lack of effective waste management, deforestation, and balancing trade-offs in hydroelectric development and protection of water and biodiversity.³ While there has been progress in addressing environmental issues since the end of the war, there is still space for improvement. More precisely, the country needs to strengthen institutional and legislative environmental frameworks as well as to improve the implementation and enforcement of various environmental policies.

The environment also represents an essential issue in BiH’s accession process to the EU. Under the Stabilization and Association Agreement with the EU, BiH agreed to transpose the EU’s environmental acquis (accumulated legislation) into the country’s legal frameworks and to adapt its administrative system accordingly. There was no state-level policy and strategy on the environment, apart from several state- and entity-level strategic documents to manage different aspects of the environmental protection field. The EU conducted an Environmental Approximation Strategy review of BiH in 2014, recommending the country establish an institutional framework capable of implementing new legislation harmonized with the EU’s environmental acquis.

Development of BiH ESAP 2030+

In early 2018, relevant authorities from BiH contacted the Embassy of Sweden in Sarajevo, acting as the EU's sustainable development efforts focal point in the county, requesting to support BiH in developing a countrywide environmental strategy and action plan for BiH. The authorities requested support because the one of the main conditions for joining the EU was development of such document. Hence, the Development of the Environmental Strategy and Action Plan of BiH (BiH ESAP 2030+) project was an adequate response to the request of relevant authorities from BiH with an intention of improving approximation of the country towards the EU. The management and coordination of the BiH ESAP 2030+ process were entrusted to Sweden based environmental policy think tank Stockholm Environment Institute (SEI). BiH ESAP 2030+ is planned to last between September 2019 and October 2022.

The project was designed to have a positive long-term impact that will improve the state of the environment in BiH and contribute to progress in the process of BiH becoming a member of the EU. BiH ESAP 2030+ will provide the country with a planning framework, allowing for coherent environmental practices and actions across four jurisdictions of BiH (BiH, Federation of BiH or FBiH, Republika Srpska or RS, and Brčko District or BD). Moreover, BiH ESAP 2030+ will be a critical tool for relevant authorities to reach environmental sustainability and improved citizen health and well-being for current and future generations. Lastly, the project will help BiH to approximate to the EU through the alignment of the ESAP 2030+ with EU environmental acquis.

BiH ESAP 2030+ has several specific objectives. First, the project lays a foundation

for a synchronized horizontal and vertical implementation of BiH ESAP 2030+ in BiH. Second, the project aims to improve specific capacities of government authorities while simultaneously assuring mainstreaming of Gender Equality, Social Equity and Poverty Reduction principles. Third, raising awareness of the public and business representatives on environmental issues and opportunities in the country. Fourth, promote better cooperation between the public sector, private actors, and non-governmental organizations.

The content of the BiH ESAP 2030+ project covers seven EU environmental policy areas. Those areas are: Water; Waste; Biodiversity and nature conservation; Air quality, climate and energy; Chemical safety and noise; Resource management; and Environmental management. The development process of BiH ESAP 2030+ follows a participatory approach, meaning it includes all relevant institutions, the public, private sector, and civil society organizations, as well as the environment expert community in BiH. Therefore, seven thematic working groups covering seven environmental policy areas were established for each of 4 jurisdictions in BiH, encompassing all the relevant expert groups, such as government authorities' representatives, academia, the non-governmental sector, international organizations, and private businesses. Twenty-eight working groups were set up with 659 participants from 260 organizations. Working groups, led by 14 local lead experts, created the draft documentation of BiH ESAP 2030+ that comprehensively cover the main elements of the EU environmental acquis while also corresponding with the sectoral management structures that already exist within BiH. Thematic area-specific local lead experts worked across jurisdictions for each thematic area. They were responsible for compiling working group inputs from across every jurisdiction. This *modus operandi* allowed for a genuine participatory

approach providing the project with expertise and support from all parties involved.

Apart from the working groups, two additional stakeholder groups were constantly involved in the project's development: assistant minister-level policy groups and the minister-level steering board. The policy groups are composed of participants on assistant minister levels designated by their respective ministries from each jurisdiction. The main aim of policy groups is to review the draft documentation created by the working groups and provide their guidance and input. The steering board, the highest decision-making body, includes ministers from four jurisdictions overseeing activities and outputs. The steering board is responsible for the overall synchronization and coherence of activities within the project.

The SEI team is responsible for overall management and coordination, while international experts participated in BiH ESAP 2030+ development, but only as advisers to local lead experts. All conducted work was concurrently produced in three official languages of BiH and English. Participants have been allowed to participate in whatever meeting they want and obtain any information circulated during the meetings.

1. Situation analysis and priorities of water in the BiH ESAP 2030+

The water component of the BiH ESAP 2030+ strategy (from now on, ESAP 2030+ Water Strategy) has been developed following standard approaches and drafting of strategic documents. The existing situation in the water sector was initially determined by conducting an exhaustive search and review of published plans, strategies, reports, statistical data and information for the water and other areas related to water. In parallel,

the strengths and weaknesses of water sector management at all four jurisdictions of BiH were analyzed. Based on this, the key problems and challenges were identified, in relation to which the objectives, priorities and necessary measures were further elaborated. The work also comprised identification of the EU's environmental acquis in the field of water, which includes, but is not limited to, the Water Framework Directive, the Urban Water and Wastewater Directive, the Drinking Water Directive, and the Floods Directive (from now on EU Water Directives).

The entity-level ESAP 2030+ water strategies – that of the FBiH and RS – were developed under the existing Water Management Strategies from 2010 and 2015. The water strategies, in addition, abide by the requirements of the entity laws from 2006. According to these laws, water management includes water protection, water use and protection from water, and institutional and financial instruments to support the implementation of the strategy.

Our existing situation analysis showed that in the late 1990s and the first half of 2000, both the FBiH and RS had approached the water sector reform following the EU legislation. Hence, the mid-term and long-term water management objectives and deadlines for various achievements were similar. Consequently, in 2020, the baseline state and achievements of managing water at the river basin level in FBiH and RS were substantially the same, as are their shortcomings.

In both FBiH and RS, the first cycle of River Basin Management Plans (a requirement that emanates from the EU Water Framework Directive) had been implemented. In contrast, FBiH had completed the second cycle, a process that is still in ongoing RS. Preliminary flood risk management maps have been created for both entities, and the elaboration of Flood Risk Management Plans

(a requirement emanating from the EU Floods Directive) is ongoing.

The situation in the water services sector is very similar in the whole of BiH, including in the BD. In this sector, comprehensive legal, institutional, and operational reform is needed to abide by the EU Urban Water and Wastewater Directive as well as the Drinking Water Directive. Inadequate regulations prevent the successful operational and financial operations of public utility companies. Tariffs for water services are often low and insufficient to cover operating and maintenance costs and do not allow any capital investments. About 75% of the population in BiH has access to public water supply services, while waste-water drainage services cover about 41%. Only 15% of the population is connected to waste-water treatment plants (WB/Una Consulting/SOG FBiH and RS; 2017).⁴ In the last ten years, a significant number of projects of institutional and infrastructural character have been implemented or are being implemented in the water services sector. Project implementation is financed through various financial arrangements (loans, grant support, budget financing).

The EU's annual Report from 2021 on water management performances in BiH summarizes the situation in BiH in the following way: "[...]the country lacks a consistent and harmonized countrywide strategy and sustainable investment plan on water management and urban waste-water management. Specific plans (DSIPs) for implementing EU legislation on drinking water, urban waste-water and flood risk management will still be adopted. A roof report on river basin management plans remains to be adopted. An action plan for flood protection and river management for 2014-2021 is being implemented. Flood hazards and risks are being mapped for the entire country."⁵

Based on this situation analysis and through regular and repeated discussions in the water thematic working groups of FBiH and RS, the following priorities were identified for the two larger entities of BiH.

FBiH	RS
1.1. Prevent deterioration and improve the status of water bodies	1.1. Protect against the harmful effects of water and drought, which should be harmonized with the level of importance of urban, economic, transport and other systems that are protected
1.2. Ensure conditions for achieving sustainable use of water resources,	1.2. Increase the coverage of the population and the economy with public water supply
1.3. Ensure sufficient quantities of drinking water and its availability for public water supply	1.3. Regulated, efficient and sustainable use of water resources of the Republic of Srpska
1.4. Risk reduction in extreme hydrological events by establishing a sustainable flood risk management and adaptation system and climate change adaptation	1.4. Water protection in the framework of integrated protection and improvement of the environment
1.5. Achieve a functional legal and institutional framework to align with EU water legislation	1.5. Achieve a functional legal and institutional framework, in line with the requirements of the EU Stabilization and Association Agreement, to align with EU legal acts in the field of water
1.6. Ensure the financial sustainability of the water sector in FBiH	1.6. Ensure the financial sustainability of the water sector

Table 1. FBiH and RS priorities

At the overall BiH level, the Ministry of Foreign Trade and Economic Relations of BiH (MOFTER) is the central Ministry dealing with water management. It performs the tasks and activities appropriate for the competencies of the BiH level, including the definition

of policies, basic principles, coordination of activities and harmonization of plans of entities' authorities. It also represents BiH in institutions at the international level in water management.

Accordingly, the ESAP 2030+ Water Strategy for BiH jurisdiction is entirely based on priorities and measures that lead to the strengthening of the coordinating role of MOFTER between entities' water sectors and coordination of activities with the Directorate for EU Integration (DEI). At an EU level, MOFTER coordinates activities related to harmonizing the BiH legal system with the standards that must be met for EU accession, including the acquis related to environmental protection and water management.

In the jurisdiction of BiH, BD, the situation is significantly different from the FBiH and RS levels. The key reason is that the BD was late in reforming the water sector according to EU principles. The Water Law from 1998 is still in force in the BD and the new Water Law, drafted to be in line with EU legislation, is in the process of adaptation. Therefore, several priorities and measures in the strategy for BD differ from that of the other two entities' water strategies.

Based on this situation analysis and through regular and repeated discussions in the water thematic working groups of BiH and BD, the following priorities were identified for the BiH level and BD.

BiH	BD
1.1. Developed and implemented National program of approximation of EU regulations (NPAA) / EU integration program in the field of water management	1.1. Improve the legal and institutional framework for harmonization of water legislation in BD with EU legislation

1.2. Strengthened coordinating role of BiH level during planning, monitoring, and reporting on the implementation of EU Water Directives and other obligations arising from membership in the EU	1.2. Improve strategic and systematic water management planning in the BD
	1.3. Prevention of deterioration and improvement of the status of water bodies on the territory of BD to protect aquatic flora and fauna and user needs
1.3. Enabled and efficient institutional structure at BiH level for coordination, harmonization of Plans of entity bodies in water management, and preparation of programs for financing in the field of climate change.	1.4. Establish sustainable and efficient use of water resources
	1.5. Reducing the risk of extreme hydrological events
	1.6. Ensuring the financial sustainability of the water sector

Table 2. BiH and BD priorities

Overall, it can be summarized that earlier water strategies have focused on transposition and, to some extent, implementation of EU Water Directives, while the ESAP 2030+ water strategy has focused on strengthening institutional capacities to ensure the implementation and enforcement of these directives. The ESAP 2030+ water strategy, in our view, can thus be viewed as the continuation, improvement and updating of existing strategies that increase the capacity to implement and enforce the complex and resource intense measures that are required to meet the objectives of the EU Water Directives.

2. Tackling enduring challenges

Some general conclusions are drawn from the process of EU approximation of Central and Eastern European (CEE) countries that are relevant for BiH as we explore enduring challenges in realizing the principles and priorities contained in the EU Water Directives.

A crucial insight from these processes is that transposition is easier than implementation, which is more straightforward than enforcement.⁶ In the case of BiH, an additional challenge in implementation and enforcement is the complex division of competences between the state and entities. The European Commission identified a significant backlog in alignment with the EU *acquis* due to disputes over the division of competencies and that due to complex political and institutional structure, lack of political consensus and awareness, insufficient staff and lack of financial resources, and progress in legal and policy measures requires significantly more effort and much more time than in other countries.⁷

The approximation process of CEE countries further identified water as one of the most challenging areas to align with EU requirements since it crosses various sector lines (including spatial planning, energy, agriculture, and forestry).⁶ There are thus significant challenges, both general and specific to BiH, that the ESAP 2030+ water strategy has to contribute to solving. In this section, we highlight three such challenges: increasing the strength of public administration; managing and mitigating other sector policies' negative impact on water; and mobilizing and making efficient use of economic resources for basic water infrastructure.⁷

2.1. Increasing the strength of public administration

In their systematic analysis of the implementation of the EU *acquis* in CEE countries, Hille and Knill⁸ found that the bureaucratic strength was crucial in adjusting domestic arrangements to EU requirements. However, they specify that bureaucratic strength is not only a question of financial and personnel resources but also requires autonomy from political pressure, clearly defined legal rules and

accountability.⁸ The EU Commission Opinion⁷ on BiH's application for membership of the EU raises several significant challenges to these requirements and notes explicitly that "Corruption is widespread and all levels of government show signs of political capture".⁷ Without solid and sustained efforts to tackle corruption and political capture, there is a risk that increased resources and strategic planning, on their own, will not be sufficient to implement and enforce the significant societal change required to realize the principles and priorities of the EU water *acquis*. A seminal publication identified a possible pathway to reduce corruption by combining transparency, publicity and accountability and found that "Increased transparency should be accompanied by measures for strengthening citizens' capacity to act upon the available information if we are to see positive effects on corruption."¹⁰

The ESAP 2030+ strategy has taken some steps in this direction by embracing a participatory approach where representatives from public institutions, the public, private sector, and civil society organizations worked together in creating the environmental strategy, which in turn is scrutinized, possibly modified and, hopefully, approved by the political steering group of the project. In the external mid-term evaluation of ESAP 2030+, based on 62 responses to a survey and 27 interviews with participants in the process, it was concluded that all stakeholders were able to engage in policy formulation fully and that this created a higher than usual degree of ownership.¹⁰

There are thus signs that the collaborative process provided higher transparency and publicity compared to traditional forms of policymaking. Civil society organizations and the public will, in addition, be in an excellent position to highlight irregularities and request accountability of the public administration,

in tandem with EU institutions, as part of the EU accession process. One encouraging observation from the multiple working group meetings for water is that representatives from civil society organizations have shown a capacity to act upon available information and have been able to make good use of the space provided to them in the participatory approach of ESAP 2030+.

2.2. Managing and mitigating other sector policies' negative impact on water

In the coming decades, BiH is set to experience a transformation of the electric system that focuses on eliminating greenhouse gas emissions.¹¹ As decarbonization proceeds in BiH, current trends suggest that increased hydropower production is poised to compensate for a significant share of lost lignite electricity production^{12, 13} Hydropower production, however, despite being renewable, has substantial negative impacts on riverine ecosystem integrity and biodiversity.^{14, 15, 16} Current BiH decarbonization trends thereby risk exacerbating an environmental sustainability challenge, since biodiversity loss, and particular freshwater biodiversity loss, is a global sustainability challenge with the same magnitude and urgency as climate change.¹⁷ BiH, in addition, forms part of a Western Balkan freshwater biodiversity hotspot, earning it the name "the Blue Heart of Europe".¹⁸ This adds urgency to the challenge of protecting and restoring riverine ecosystem integrity and biodiversity, vulnerable to new and existing hydropower and multipurpose dam projects. Environmentally sustainable decarbonization thus requires a complementary focus on protecting riverine ecosystem integrity and freshwater biodiversity in BiH.

In addition, a new agricultural policy is being developed that contemplates setting the target of expanding irrigation to 30%

of agricultural land by 2030. Such targets, if realized, would result in an exponential increase in water abstraction for agricultural purposes. This is the case since the goal envisions an expansion from current levels of approximately 15,000 hectares (ha) of irrigated land to 700,000 ha.¹⁹ Water abstraction for irrigation would, in this scenario, become the number one consumer of freshwater in BiH, which would likely cause significant negative impacts on the status of water bodies.²⁰

The ESAP 2030+ strategy includes measures that aim to manage and mitigate some of the risks and likely negative impacts on water from other sectors. It promotes effective and efficient cooperation with different sectors (including energy, agriculture, industry, and forestry) whose activities are likely to impact water adversely. The water strategy also includes the requirement to conduct Strategic Assessments to guide and limit the expansion of irrigation agriculture and multipurpose dams to areas where the increased water abstraction would have the minimum negative impact on water resources. The strategy also refers to the EU Water Framework Directive requirements, which allow for deterioration of the status of water bodies, but only after ensuring strict procedural and material requirements are followed.

3.3. Mobilizing and making efficient use of economic resources for basic water infrastructure

The overall cost for upgrading basic water infrastructure in BiH to an EU standard is considerable. It is estimated that necessary improvements to drinking water and urban waste-water treatment will cost 2.9 billion EUR as well as an additional 0.9 billion EUR to align with the requirements of the Flood Directive.²¹

Mobilizing this funding requires continuous

co-financing from various sources, such as local, cantonal and entity budgets, and grant funds from the EU and other bilateral donors. The funding, furthermore, has to be used efficiently.

The BiH ESAP 2030+ includes an integrated cost estimation process. When finalized, all thematic areas of the project, water management included, will obtain cost estimates for all their measures. This provides crucial information that will help authorities in all jurisdictions and donors in the process of mobilizing funding.

There are however signs that the efficient use of granted funding in BiH is an area that requires improvements. This is indicated by the current risk of BiH losing Pre-Accession Assistance (IPA) III funding for failure to implement water-related obligations in line with previously granted funding.

We believe that the participatory approach of the ESAP 2030+ water strategy contributes to strengthening public administration. This, together with the continuous and strong commitment of the water administration of all levels in BiH, should help in increasing the efficient use of economic resources for basic water infrastructure.

4. Conclusion

In the course of 2022, it is expected that the process of reviewing and accepting the ESAP 2030+, including possible minor modifications, will be completed by the assistant minister-level policy groups and minister-level steering board. It will then go to the public hearing process and after that political approval at all levels.

If approved by all jurisdictions, we aspire to continue the implementation process of BiH ESAP 2030+, supported by the Swedish Inter-

national Development Cooperation Agency (Sida) office in BiH. Sida has expressed interest in supporting an initiative that would monitor the implementation of BiH ESAP 2030+ when adopted. However, it is essential to mention that at the time of writing this article, this idea is only conceptual and non-binding.

As mentioned, the BiH ESAP 2030+ will contribute to mobilizing funds by clearly specifying the costs of each measure in the environmental strategy. Accordingly, the aim is to convene a donors' conference in the fall of 2022 with international and bilateral donors that can contribute to fulfilling the objectives of the strategy, water management included.

Overall, the BiH ESAP 2030+ serves as an overarching process and strategic document that raises the profile of water management in BiH, as well as providing better interlinkages between water and other vital sectors such as biodiversity, energy, and waste. As such the process is set to improve the sustainability of water management in the country, assist in the alignment to the EU acquis as well as improve the capacity to respond to climate change impacts on water.

REFERENCES

- [1] Consilium, EU-Western Balkans Summit, Thessaloniki, 2003. https://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/misc/76291.pdf
- [2] European Commission, Bosnia and Herzegovina, Brussels, 2022. https://ec.europa.eu/neighbourhood-enlargement/enlargement-policy/negotiations-status/bosnia-and-herzegovina_sv
- [3] United Nations Economic Commission for Europe, Third Environmental Performance Review of Bosnia and Herzegovina, Geneva, 2018. <https://unece.org/environment-policy/publications/3rd-environmental-performance-review-bosnia-and-herzegovina>

3. BH Kongres o vodama / 3rd B&H Water Congress

- [4] Una Consulting, Institucionalni Pregled Sektora Vodnih Usluga u BiH, Bihać, 2017. <https://www.upkp.com.ba/dokumenti/Finalna%20verzija%20%20nacrt-a-Institucionalni-pregled-sektora-vodnih-usluga%20u-BiH.pdf>
- [5] European Commission, Bosnia and Herzegovina Report 2021, Brussels, 2021. https://ec.europa.eu/neighbourhood-enlargement/bosnia-and-herzegovina-report-2021_sv
- [6] World Bank, Journey to a Cleaner Future, Washington DC, 2007. <https://documents1.worldbank.org/curated/n/863081468023342359/422020WP0Box031CleanerFutureRoadmap.pdf>
- [7] European Commission, Commission Opinion on Bosnia and Herzegovina's application for membership of the European Union. Brussels, 2019. https://ec.europa.eu/neighbourhood-enlargement/system/files/2019-05/20190529-bosnia-and-herzegovina-opinion_en.pdf
- [8] P. Hille and C. Knill, It's the Bureaucracy, Stupid, European Union Politics, 7, 4, (531-552), 2006. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00571736/document>
- [9] C. Lindstedt and D. Naurin, Transparency is not Enough: Making Transparency Effective in Reducing Corruption, International Political Science Review, 31, 3, (301-322), 2010. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0192512110377602>
- [10] PEMconsult, Mid-term/ End Evaluation of the Development of the Environmental Strategy and Action Plan of Bosnia and Herzegovina (the ESAP 2030 project), Copenhagen, 2021.
- [11] Council of Ministers of Bosnia and Herzegovina, Framework Energy Strategy of Bosnia and Herzegovina until 2035, Sarajevo, 2018. http://www.mvteo.gov.ba/data/Home/Dokumenti/Energetika/19042022_Framework_Energy_Strategy_of_BiH_until_2035_ENG_FINAL.pdf
- [12] Energy Community, Bosnia and Herzegovina's 2021 implementation performance and key energy sector benchmark data, Vienna, 2021. https://www.energy-community.org/implementation/Bosnia_Herzegovina.html
- [13] U. Schwarz, Hydropower Projects on Balkan Rivers, RiverWatch and EuroNatur, Vienna, 2020. https://balkanrivers.net/uploads/files/3/Balkan_HPP_Update_2020.pdf
- [14] S. E. Bunn and A. H. Arthington, Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity, Environmental Management, 30, (492-507), 2002. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-002-2737-0>
- [15] A. J. Reid et al., Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity, Biological Reviews, 94, 3, (849-873), 2019. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/brv.12480>
- [16] N. L. Poff and J. K. H. Zimmerman, Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows, Freshwater Biology, 55, 1, 2010. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2427.2009.02272.x>
- [17] D. Ticker et al., Bending the Curve of Global Freshwater Biodiversity Loss: An Emergency Recovery Plan, BioScience, 70, 4, (330-342), 2020. <https://academic.oup.com/bioscience/article/70/4/330/5732594?login=true>
- [18] S. Weiss, Balkan Rivers Endangered Fish Species: Distributions and Threats from Hydropower Development, University of Gratz, Tirana, 2016. https://balkanrivers.net/sites/default/files/Steven%20Weiss_Endangered_Fish_Species_Balkans.pdf
- [19] World Bank, Agricultural land (sq. km) - Bosnia and Herzegovina, Washington DC, 2022. <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.AGRI.K2?locations=BA>
- [20] M. Terrado, S. Sabater, and V. Acuña, Identifying regions vulnerable to habitat degradation under future irrigation scenarios, Environmental Research Letters, 11, 11, 114025, 2016. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/11/114025/meta>
- [21] Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine, Strategija usklađivanja propisa pravnoj stečevini EU u oblasti zaštite okoliša/životne sredine Bosne i Hercegovine, Sarajevo, 2017. http://www.mvteo.gov.ba/data/Home/Документи/Водни%20ресурси/СТРАТЕГИЈА_УСКЛАЂИВАЊА_ПРОПИСА_ПРАВНОЈ_СТЕЧЕВИНИ_EU_U_OBLASTI_ZASTITE_ZIVOTNE_SREDINE_BOSNE_I_HERCEGOVINE.pdf

Upravljanje i smanjenje otjecanja oborinskih voda u urbanim područjima

/

Management and reduction of storm water runoff in urban areas

Dr. Hata Milišić, dipl.inž.građ.

Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet
Patriotske lige 30, Sarajevo
hata.milusic@gmail.com

Dr. Emina Hadžić, dipl.inž.građ.

Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet
Patriotske lige 30, Sarajevo
eminahd@gmail.com

Dr. Suvada Šuvalija, dipl.inž.građ.

Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet
Patriotske lige 30, Sarajevo
suvada_jusic@gmail.com

Ekstremni oborinski događaji klimatski su pokretači otjecanja oborinskih voda i poplava u urbanim područjima, dok se u budućnosti zbog klimatskih promjena očekuje i porast takvih događaja. Otjecanje oborinskih voda u urbanim područjima ne ovisi samo o intenzitetu kišnih oborina, već i o stepenu propusnosti tla. U prirodnom okruženju, meteorske vode ispiru se i polako infiltriraju iz tla i kroz tlo. U urbanom okruženju, nepropusne površine otežavaju prirodnu infiltraciju vode i uzrokuju brzo otjecanje vode prema krajnjim recipijentima. U slučaju ekstremnih oborina, pretjerano otjecanje oborinskih voda i ograničeni kapacitet recipijenta mogu prouzročiti privremenu poplavljenost urbanih prostora. Zbog klimatskih promjena očekuje se intenziviranje ekstremnih događaja, koji će stvoriti dodatni pritisak na urbane sisteme odvodnje i negativno utjecati na njihovu učinkovitost. Širok raspon mjera za smanjenje otjecanja oborinskih voda u urbanim područjima već je dostupan i primjenjuje se, dok se druge mjere testiraju kroz pilot-projekte i spremne su postati uobičajena praksa. U kontekstu upravljanja rizicima, globalna zajednica i EU decidirano zagovaraju rješenja koja se temelje na razumijevanju prednosti koje priroda pruža ljudskom društvu te potiču integraciju "zelenih" rješenja u lokalne strategije smanjenja rizika od katastrofa kao i lokalne strategije prilagodbe klimatskim promjenama.

Ključne riječi

Klimatske promjene, upravljanje vodama, oborinske vode, urbana zelena infrastruktura

Extrême precipitation events are the climate drivers of rainwater runoff and floods in urban areas, while in the future due to climate change is expected to increase such events. Rainwater runoff in urban areas depends not only on the intensity of rainfall, but also on the degree of soil permeability. In the natural environment, meteoric waters are washed away and slowly infiltrate from and through the soil. In urban environments, impermeable surfaces impede natural water infiltration and cause rapid runoff of water to end recipients. In the event of extreme rainfall, excessive runoff and limited recipient capacity can cause temporary flooding of urban areas. Due to climate change, extreme events are expected to intensify, which will create additional pressure on urban drainage systems and negatively affect their efficiency. A wide range of measures to reduce stormwater runoff in urban areas is already available and being implemented, while other measures have been tested through pilot projects and are ready to become common practice. In the context of risk management, the global community and the EU are strongly advocating solutions based on understanding the benefits of nature to human society and encouraging the integration of 'green' solutions into local disaster risk reduction strategies and local climate change adaptation strategies.

Key words

Climate change, water management, rainwater, urban green infrastructure

Brzi rast gradova i širenje urbanih područja, zagađenje, pritisak na prirodni ekosistem - izazovi su koji zahtijevaju bolje upravljanje prirodnim resursima. Kroz održivu praksu korištenja zemljišta, možemo graditi životne urbane prostore koji su učinkovitiji, pristupačniji, zdraviji i atraktivniji. Zemlja, čist zrak i voda i zelene površine dragocjeni su resursi koji nisu beskrajni i nepotrošivi.

Voda je važan resurs, koji postaje sve više ograničen, a oborinske vode počinju se smatrati dragocjenim resursom umjesto otpadnim produktom ili problemom. Moramo naučiti kako koristiti te resurse na pametan i održiv način kako bismo osigurali da se gradovi razvijaju kao sastavni dio šireg okruženja, a ne izolirano od njega [1].

Kišne oluje i s njima povezane poplave prijete i učestalošću i ozbiljnošću. Urbani sistemi odvodnje oborinskih voda, često iscrpljeni desetljećima nedovoljnog ulaganja i održavanja, suočavaju se s novim izazovima klimatskih promjena. Urbane poplave uzrokovane obilnim kišama uzrokuju prekide u napajanju električnom energijom i prometnim tokovima, onečišćenje pitke vode i znatne štete.

Jačanje otpornosti i sposobnosti oporavka gradova povezano je s osiguravanjem infrastrukture prilagođene ekstremnim događajima i održivim upravljanjem sistemom odvodnje koje podržava prirodne procese odvodnje. U kontekstu upravljanja rizicima, globalna zajednica i EU decidirano zagovaraju rješenja koja se temelje na razumijevanju prednosti koje priroda pruža ljudskom društvu te potiču integraciju tih "zelenih" rješenja u lokalne strategije smanjenja rizika od katastrofa kao i lokalne strategije prilagodbe klimatskim promjenama [1].

1. Urbanizacija i njene posljedice

U prvom desetljeću 21. stoljeća po prvi put u povijesti čovječanstva svjetska populacija trajno nastanjena u gradovima premašila je stanovništvo ruralnih sredina. Trend koji je započeo još s industrijskom revolucijom u prvoj polovici 19. stoljeća tako je dosegnuo svoju tačku preokreta, no ne i njezin vrhunac – do 2050. godine čak će 70 posto svjetske populacije živjeti u gradovima. Urbane sredine imaju velik značaj zbog svoje društvene, ekonomske i kulturne uloge. Život u gradovima svakako donosi i određene probleme, odnosno izazove na koje treba odgovoriti [2].

Globalizacija je dovela do snažnog ekonomskog razvoja i kretanja ljudi, proizvoda, a i kapitala. Tako postoji uska veza između urbanizacije i ekonomskog rasta, a dobar primjer su mnoge razvijene ili industrijalizirane zemlje te nekoliko zemalja u razvoju. Urbana područja, odnosno gradovi olakšali su razvoj, integraciju znanja te su bili inkubatori raznih civilizacija. Ipak, proces urbanizacije praćen je i velikim brojem problema, kao što su snabdijevanje vodom, sanitarna zaštita, transport i sl [2].

Povećanjem broja stanovnika, javlja se potreba za životnim prostorom, što uzrokuje urbanizaciju. Urbani razvoj dovodi do fundamentalnog pomaka u prirodnoj ravnoteži vode. Širenje gradova, povećava i broj nepropusnih površina u njima. Kako se zemljište sa vegetacijom zamjenjuje tvrdim površinama kao što su zgrade, putevi i parkirališta, prilika za infiltraciju i evapotranspiraciju padavina se dramatično smanjuje, a površinsko otjecanje postaje primarni mehanizam odvodnje. Kako voda otiče s urbanih površina, ona skuplja sediment, soli na cestama, metale, ulja pesticide i druge štetne zagađivače, koji se prenose u naše rijeke i potoke [3]. Ove velike količine oticanja doprinose povećanju erozije

kanala, većem riziku od poplava i promjenama u hidrologiji prirodnih karakteristika

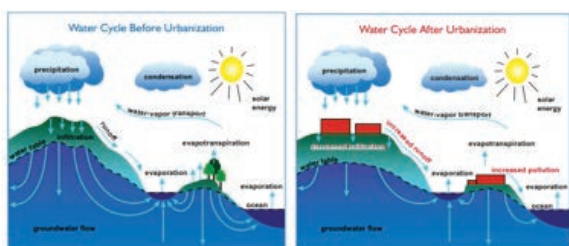
Principi unutar tradicionalnih sistema odvodnje nisu se promijenili stoljećima. Oni za cilj imaju odvesti vodu što je prije moguće iz urbanih područja u ostala vodna tijela kao što su potoci, rijeke, jezera i mora. Ubrzani prijenos oborinske vode u kanalizaciju, smanjuje njenu mogućnost infiltracije u tlo ili evapotranspiracije kroz zelene površine [1].

Posljednjih desetljeća postaje sve jasnije od strane različitih aktera, kako bi trebalo doći do promjene u izgradnji urbanih sistema odvodnje. Velike količine vode prilikom kišnog vremena dovode do neefikasnosti postojećih sistema da prihvate potrebne količine vode, što dovodi do poplava. Rastući trend javlja se u vidu održivog upravljanja vodama [1]. Održiva odvodnja ima za cilj oponašati prirodne procese unutar hidrološkog ciklusa i integrirati ove sisteme unutar urbanog pejzaža. Naglasak na održivom razvoju treba biti na svim nivoima, od manjih urbanih sredina do velikih urbanih konglomeracija, jer tako pozitivno doprinosimo globalnim ciljevima održivosti. Također, kako globalno pa tako i u Bosni i Hercegovini, javlja se svijest o potrebi rješavanja odvodnje oborina lokalno, odnosno na mjestu njenog nastanka.

1.1. Uticaj urbanizacije na hidrološki ciklus

Svakodnevno svjedočimo činjenici da se klima mijenja. Klimatske promjene događale su se u prošlosti, prisutne su u sadašnjosti, a vjerojatnost je vrlo velika da će se događati i u budućnosti. U globalnom hidrološkom ciklusu ukupna količina vode uglavnom ostaje konstantna. Međutim, globalni hidrološki ciklus nije samo jedan veliki ciklus, već je sastavljen od više međusobno povezanih ciklusa kontinentalne, regionalne ili lokalne razmjere. Zbog toga se raspodjela vode na

kontinentima i unutar slivnih površina stalno mijenja, što se ispoljava i kroz prostorne i kroz vremenske varijacije [4]. Pored prirodnih varijacija u raspodjeli voda, i ljudske aktivnosti utiču na vodni režim. Ljudi obrađuju zemlju, navodnjavaju biljke, đubre zemljište, krče šume, crpe podzemne vode, grade brane, bacaju otpatke u rijeke i jezera, i rade mnoge druge konstruktivne ili destruktivne stvari koje mijenjaju dinamičku ravnotežu hidrološkog ciklusa i iniciraju nove procese. Tu spada i proces urbanizacije, jer su izgrađeni gradovi i naselja na mjestima gdje su nekad bile ruralne površine. Urbane sredine su postale mjesta gdje hidrološki ciklus ima određene specifičnosti [4].

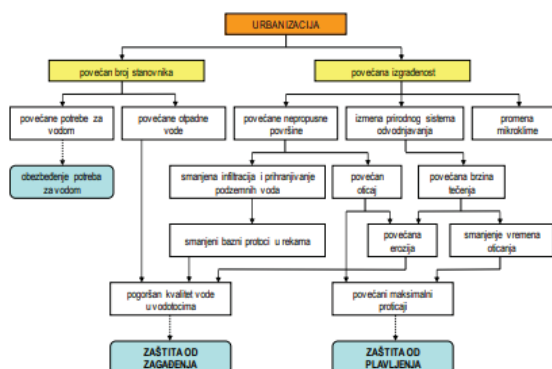


Slika 1. Dijagram ciklusa vode koji prikazuje različite procese uključene prije i nakon urbanizacije [5].

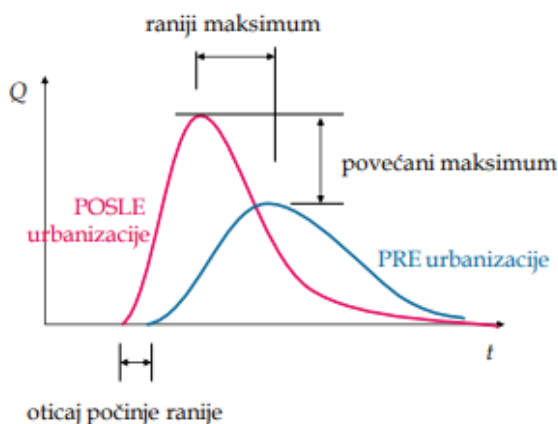
Ako se detaljnije razmatra jedna urbana sredina, mogu se uočiti još neki aspekti promjene prirodnog režima voda. Osnovna karakteristika urbanih sredina jeste značajno uvećano učešće nepropusnih površina (ulica, krovova i velikih popločanih ili asfaltiranih površina). Prirodni putevi dreniranja voda se mijenjaju i dopunjuju kanalizacionim sistemima, dok se efekti plavljenja ublažavaju retenzionim prostorima i drugim mjerama odbrane od poplava. Dva aspekta urbanizacije koji imaju najočigledniji uticaj na hidrološke procese jesu povećanje broja stanovnika i povećanje gustine naseljenosti, odnosno izgrađenosti. Posljedice takvih promjena shematski su prikazane na slici 2 [4].

Povećanje broja stanovnika dovodi do povećanja potreba za vodom. Sa porastom životnog standarda ove potrebe se još više

uvećavaju. Povećane brzine i povećan oticaj stvaraju i problem povećane erozije. Zbog povećane nepropusnosti veći dio pale vode se pretvara u oticaj u poređenju sa uslovima prije urbanizacije, dok se manja količina vode infiltrira. Zbog izgradnje kišnih kolektora, regulisanja prirodnih vodotoka ili čak zacijevljenja manjih potoka, vode sa gradskih slivova se znatno brže odvođuju. Veće su brzine tečenja, a skraćuje se vrijeme oticanja [4]. Pošto se veće zapremine vode odvođuju za kraće vrijeme, maksimalni proticaji su znatno veći. Povećani proticaji i zapremine vode izazivaju plavljenja urbanih sredina, što je drugi glavni hidrološki problem u urbanim sredinama. Materijal koji se spira sa ulica i drugih gradskih površina završava u kanalizacionom sistemu i utiče na probleme kvaliteta voda u vodoprijemnicima [6].



Slika 2. Uticaj urbanizacije na hidrološke procese [4].



Slika 3. Uticaj urbanizacije na oblik hidrograma [4].

Promjene mikroklimе u urbanim sredinama mogu na prvi pogled izgledati nevažno u pore-

đenju sa promjenama u hidrološkom ciklusu koje donosi urbanizacija. Ipak, određenu pažnju bi trebalo posvetiti posljedicama promjena klime kada su u pitanju parametri od značaja za projektovanje infrastrukture. Pored već pomenutih efekata urbanizacije na kvalitet voda, postoji i efekat smanjene infiltracije, a time i smanjeno prihranjivanje podzemnih voda. S obzirom da se tokom sušnih perioda bazni proticaji u prirodnim vodotocima formiraju iz podzemnih rezervoara vode, može se očekivati smanjenje baznih proticaja i malih voda. Nažalost, ovo smanjenje količina vode u kombinaciji sa istim ili čak i povećanim količinama otpadnih voda daje kao rezultat povećane koncentracije zagađujućih materija u vodotocima. Nažalost, ovakva situacija se ne ublažava mnogo u kišnim periodima. Zajedno sa otekrom kišnom vodom u vodotoke dospijeva i sav materijal koji je spran sa ulica, krovova i drugih površina, pa čak i deponija čvrstog otpada. Problem degradacije kvaliteta i površinskih i podzemnih voda u urbanim sredinama je treći glavni hidrološki problem [4].

Dakle, osnovni hidrološki problemi urbanih sredina, nastali kao posljedica urbanizacije, jesu: vodosnabdijevanje, odnosno obezbjeđivanje dovoljnih količina vode odgovarajućeg kvaliteta; zaštita od plavljenja kišnim vodama i zaštita voda od zagađenja.

1.2. Uticaj klimatskih promjena na odvodnju oborinskih voda u urbanim sredinama

Klimatske promjene jedan su od najvećih izazova s kojim se danas suočava cijelo čovječanstvo jer utječu na sve aspekte okoliša i ekonomije te ugrožavaju održivi razvoj društva. Sve je više prihvaćena činjenica da klimatske promjene utječu na učestalost pojave i intenzitet ekstremnih događaja. Na bazi dosadašnjih istraživanja uočena je sve veća varijabilnost klime u svim godišnjim

dobima. Brze i intenzivne promjene dešavaju se u kratkim vremenskim periodima - iz ekstremno hladnih u tople vremenske prilike ili iz perioda ekstremno obimnih padavina u sušne periode.

Usvajanje niza međunarodnih rezolucija i sporazuma potvrđuje znanstveni i politički konsenzus da se klimatske promjene u značajnoj mjeri već događaju [6].

U Bosni i Hercegovini (BiH), šest od posljednjih 10 godina su bile veoma suhe do ekstremno suhe, a pet godina su bile obilježene ekstremnim poplavama [6]. Tokom razdoblja 2009.-2018. gotovo sve godine su imale obilježja ekstremnih vremenskih prilika: poplave 2009, 2010, 2014, 2018, 2019. godine, suša i valovi vrelina 2011. 2012. 2013, 2015, 2016. i 2017. godine, val hladnoća početkom 2012., snažan vjetar sredinom 2012. i krajem 2017 godine; ekstremno velik broj dana sa pojavom grada u 2018. (78 dana cjelokupan sistem protugradne preventive je bio u pripravnosti, a tokom 43 dana meteorološka situacija je zahtijevala djelovanja protugradnih raketa, što je duplo više u odnosu na prosjek) [6].

Za razliku od brojnih drugih problema u oblasti zaštite okoliša/životne sredine, uticaj klimatskih promjena nije geografski povezan sa svojim uzrocima. Dakle, iako BiH spada među zemlje koje imaju najnižu vrijednost emisija stakleničkih gasova po glavi stanovnika u Evropi, već su primijećene klimatske promjene. BiH je posebno osjetljiva na klimatske promjene zbog svoje geografske pozicije, ekonomske važnosti sektora poljoprivrede i šumarstva, kao i zbog svog ograničenog kapaciteta za prilagođavanje na klimatske promjene. Stoga je od prioritetne važnosti utvrditi učinak klimatskih promjena na Bosnu i Hercegovinu, utvrditi stepen ranjivosti i odrediti prioritetne mjere djelovanja. Drugim riječima, potrebno je strateški pristupiti procesu prilagodbe klimatskim promjenama

i iskoristiti mogućnosti za primjenu inovativnih rješenja za održivi razvoj. Istovremeno, tranzicija u pravcu niskoemisionog razvoja osigurava mogućnosti koje su povezane sa 'zelenom ekonomijom', kao i mobiliziranje i privlačenje domaćih i međunarodnih investicija u energetska efikasnost i obnovljive izvore energije[6].

Klimatske promjene na globalnom nivou postale su zabrinjavajuće, jer imaju snažan utjecaj na hidrološki ciklus vode u prirodi. Oborine postaju rjeđe, ali se njihov intenzitet pojačava te stvaraju probleme u odvodnji unutar urbanih područja. Mnoga se mjesta širom svijeta suočavaju s čestim problemima poplava i predviđa se kako će se taj problem pogoršati zbog antropogenih klimatskih promjena i urbanizacije. Poplave mogu dolaziti iz više izvora i mogu biti uzrokovane višestrukim mehanizmima, a nastaju kada je premašen kapacitet tla za upijanjem i kada količina vode nadmašuje kapacitet vodotoka i izlazi iz uobičajenih korita, šireći se kopnom. Očekuje se da će klimatske promjene znatno utjecati na učestalost i intenzitet ekstremnih količina oborina te na porast temperatura, što uzrokuje topljenje ledenjaka i porast razine mora.

Urbanizacija s povećanjem nepropusnih površina i nedostatkom prirodne odvodnje stvara dodatne poteškoće koje prije nisu postojale. Štete od poplava pokazale su brzi trend porasta kako u svijetu tako i u Europi. Prema tome, potrebne su učinkovite strategije prilagodbe posljedicama klimatskim promjenama, koje kombiniraju infrastrukturu za zaštitu od poplava, prirodna rješenja (zelena infrastruktura) i financiranje upravljanja rizicima od poplava te ublažavanje njihovog utjecaja na ekonomiju. Prilagodba klimatskim promjenama i smanjenje rizika od katastrofa jedni su od glavnih ciljeva UN-ove Agende 2030 za održivi razvoj [6].

Mjere fizičke zaštite od poplava, poput nasipa, uglavnom su isplative u područjima s visokom koncentracijom stanovništva i imovine. Međutim, takva zaštita zahtijeva velika kapitalna ulaganja za izgradnju i održavanje. Sve veća učestalost, intenzitet i oštećenja uzrokovana poplavama uzrokuju smanjenu učinkovitost tehničkih rješenja zaštite. U posljednje vrijeme sve više se koriste prirodna rješenja za lakše upravljanje poplavama. Zelena infrastruktura može doprinijeti upravljanju poplavama i zajednički koristiti društvu i ekonomiji. Takva prirodna rješenja uključuju revitalizaciju prirodnih poplavnih nizina, zaštitu i širenje močvarnih područja, obnavljanje koraljnih grebena i grebena kamenice te ulaganje u gradske zelene površine kako bi se smanjio odljev vode. Zelena rješenja mogu također doprinijeti povećanju biološke raznolikosti, mogućnostima za rekreaciju i zadržavanju ugljika. Na primjer, revitalizacijom kanala obnavlja se vegetacija i tlo korita, što smanjuje brzinu rijeke, kontrolirajući eroziju te ponovno uspostavlja sedimentnu ravnotežu. Zelena infrastruktura se u velikoj mjeri odnosi i na smanjenje stakleničkih plinova, na primjer zadržavanje ugljika se može ostvariti upravljanjem zemljištem i obalnim tampon zonama. Ipak, usprkos višestrukim prednostima prirodnih rješenja, kontrola poplava ostaje u velikoj mjeri ovisna o „sivim“ infrastrukturnim intervencijama. „Siva“ infrastruktura odnosi se na izgrađenu infrastrukturu za vodene resurse kao što su postrojenja za pročišćavanje vode i otpadnih voda, cjevovodi i rezervoari [5].

Potrebno je imati na umu da su najveći očekivani utjecaji na zemlju, regiju, određeni sektor ili zajednicu, potencijalno povezani s promjenama temperature, vlažnijim zimama, sušnim ljetima, porastom oborina i klimatskim promjenama. Stoga je razvijanje strategija za smanjenje rizika od poplava ili ublažavanje posljedica poplava važna tema u kontekstu klimatskih promjena. Zbog toga je ključno

razviti analitičke alate koji će nam omogućiti da istražimo i uspostavimo mjere ublažavanja i prilagodbe klimatskim promjenama, poput izdržljivijih nasipa, prostornog planiranja i planova upravljanja poplavnim rizicima [5].

Prilagodba klimatskim promjenama podrazumijeva poduzimanje određenog skupa aktivnosti s ciljem smanjenja ranjivosti prirodnih i društvenih sistema na klimatske promjene, povećanja njihove sposobnosti oporavka nakon učinaka klimatskih promjena, ali i iskorištavanja potencijalnih pozitivnih učinaka koji također mogu biti posljedica klimatskih promjena.

2. Upravljanje urbanim oticajem

Pritisak na okoliš značajno je rastao prošlih desetljeća, kao posljedica izostanka uravnoteženog/integralnog pristupa razvoju vodoopskrbno/odvodnog sistema, odnosno posljedica jednostranog razvoja vodoopskrbe kojim se povećala količina otpadnih voda za koje nije istovremeno osiguran kvalitetan sistem zbrinjavanja (odvodnje, pročišćavanja, okolišno prihvatljivog ispuštanja u krajnji recipijent). Problem je posebno izražen u ljetnom periodu nižih vodostaja, kad recipijenti imaju znatno smanjenu sposobnost razrjeđenja zagađenih otpadnih voda. Zbog prirode oborinskih voda da se javljaju povremeno i u velikim količinama u usporedbi s ostalim otpadnim vodama, teško je primijeniti klasične postupke čišćenja i zaštite voda. Posebno je to teško kad se radi o onečišćenim oborinskim vodama sa saobraćajnicama izvan naseljenih mjesta. U gradskim sredinama moguće je oborinske vode neovisno o primijenjenom sistemu odvodnje pročistiti na gradskim uređajima za čišćenje otpadnih voda, obično u kombinaciji s građevinama za regulaciju dotoka vode prema uređaju [5].

U tradicionalnom pristupu odvođenja atmosferskih voda sa urbanih slivova, teži se priklju-

čivanju svih nepropusnih površina u sistem, brzom odvođenju prikupljenih količina voda na što veću udaljenost, ukoliko je u pitanju mješoviti tip kanalizacije, da bi se prečišćavanje otpadnih voda obavilo centralizovano. Kod separatnog sistema, kišna voda se najkraćim putem odvodi do najbližeg vodotoka uz primarno prečišćavanje, a u našim uslovima, često i bez njega [7].

U drugoj polovini XX vijeka, postalo je jasno da tradicionalni pristup kanaliziranju urbanih sredina nije održiv sa različitih stanovišta zahtijeva zaštite životne sredine. Novi pristup je zahtijevao smanjivanje pritiska na sistem za odvođenje i prečišćavanje atmosferskih voda, odnosno, smanjenje oticaja sa sliva i vršnih protoka, zaštitu kvaliteta površinskih voda i decentralizovano prečišćavanje objektima uklopljenim u okolinu - lokalno zadržavanje prikupljenih voda. Pored toga, porasli su zahtijevi za očuvanjem ili obnavljanjem zelenih površina u urbanim sredinama i očuvanjem staništa biljnih i životinjskih vrsta [7].

Krajem XX vijeka razvijeno je nekoliko koncepata upravljanja otpadnim vodama, koje je odlikovao integrirani pristup problematici, kroz težnju da se u najmanjoj mogućoj mjeri odstupa od prirodnog hidrološkog ciklusa preko uslova koji vladaju u urbanom slivu. Prve primjenjene mjere obuhvatile su: bioretencije (kišne bašte), a zatim i zelene krovove, porozna popločanja, zatravljene rigole i kanale. U SAD je pristup razvijan pod nazivom 'Izgradnja malog uticaja' (Low Impact Development (LID)), u Kanadi 'Mjere kontrole atmosferskih voda' (Stormwater Control Measure (SCM)), u Velikoj Britaniji 'Održivi sistemi za odvođenje voda' (Sustainable Drainage Systems (SuDS)) i 'Održive šeme za odvođenje urbanih voda' (Sustainable Urban Drainage Schemes (SUDS)), a u Australiji 'Urbanističko projektovanje i planiranje koje uzima u obzir vodu' (Water Sensitive Urban Design (WSUD)). Svaki od navedenih koncepata ima svoje specifičnosti.

LID pristup je zasnovan na očuvanju ekosistema, kod SUDS pristupa se ističe stvaranje prijatnog ambijenta, a WSUD karakteriše korišćenje kišne vode kao tehničke vode [7,8].

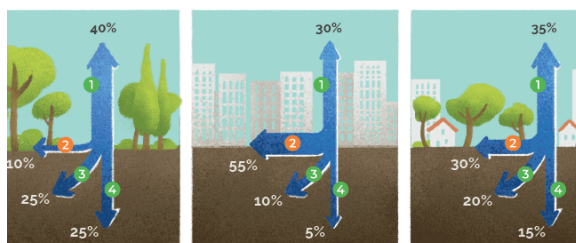
3. Održivi sistemi urbane odvodnje

Danas kada imamo veće količine vode, tradicionalni sistemi odvodnje postaju preopterećeni, jer su projektirani unazad 100 godina kada je bilo manje ljudi, a klimatska situacija je bila stabilnija. Održiva odvodnja javlja se kao ekološki prihvatljivo rješenje tradicionalnom sistemu odvodnje, gdje se oborinska voda sagledava kao obnovljiva sirovina koja se može ponovo koristiti. Održivi sistemi odvodnje trebali bi biti jednostavni za upravljanje, koji zahtijevaju mali ili nikakav unos energije, ekološki prihvatljivi i pritom stvarati estetski atraktivne prostore [9].

Održivi sistemi urbane odvodnje (engl. SuDS – sustainable urban drainage systems) su sistemi objekata izgrađenih za upravljanje otjecanjem oborinskih voda koji oponašaju prirodnu odvodnju i iskorištavaju mogućnosti odvodnje koje pružaju prirodni elementi. Održivi sistemi urbane odvodnje obično uklapaju vegetaciju i tlo u umjetne strukture s ciljem povećanja prirodne propusnosti tla, što dovodi do pozitivnih učinaka i na obnavljanje podzemnih voda [9].

U tom smislu, održivi sistemi urbane odvodnje čine cjelokupni pristup upravljanju otjecanjem oborinskih voda u urbanim područjima, uključujući širok raspon specifičnih mjera, poput zelenih urbanih područja, zelenih krovova, propusnih podnih obloga, otvaranja nepropusnih površina i umjetnih konstrukcija (npr. bušeni bunari, modularni geocelularni sistemi, infiltracijski kanali, infiltracijski i bioretencijski bazeni, itd.). Zelene površine mnogo su propusnije od urbaniziranih površina i mogu se koristiti u gradovima

za ublažavanje otjecanja oborinskih voda. Drveće, grmlje i biljke općenito mogu pospješiti propusnost tla i obnavljanje podzemne vode (slika 4). Međutim, oni imaju ograničeni učinak zbog relativno malog obuhvata[10].



Slika 4. Uporedni prikaz odvodnje oborinskih voda u urbanim sredinama sa i bez zelene infrastrukture[10]

Zelene površine mogu se stvarati u raznim oblicima, uključujući ozelenjena parkirališta, drvorede, zelene mjere za ublažavanje urbanih radova, itd. U nekim slučajevima mogu se uspostaviti šire zone zaštite šuma, sa značajnim blagotvornim učincima u smislu povećane infiltracije, poroznosti tla i akumulacije organskog ugljika. Osim stvaranja novih ozelenjenih urbanih područja, očuvanje i održavanje onih postojećih također postaje vrlo važno u suočavanju s utjecajima ekstremnih kišnih događaja i s njima povezanim otjecanjem oborinskih voda.

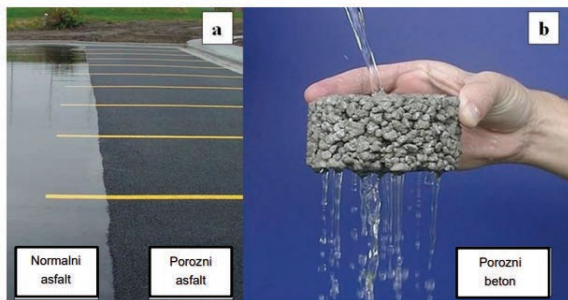
Propusne obloge za tlo izrađene su od posebnih materijala s ciljem poboljšanja infiltracije kišnice kroz urbane površine u dublje slojeve (tla i vodonosnika) (slika 5). To omogućuje skladištenje vode i sporije ispuštanje pomoću sistema za kontrolu protoka. Dvije su glavne vrste propusnih obloga za tlo: (i) obloge koje koriste izrazito porozne materijale koji omogućavaju infiltraciju vode na cijeloj površini; (ii) obloge koje koriste materijale koji sadržavaju praznine (poput opeke) duž pokrivene površine kroz koje se voda može infiltrirati. Propusne obloge pomažu u čuvanju oborinskih voda ispod površine i njihovom ispuštanju kontroliranom brzinom, odnosno omogućavaju polaganu infiltraciju u

podzemni sloj [10].



Slika 5. Prikaz betonske travnate rešetke [10]

Vodopropusni materijali – porozan asfalt i beton vrlo su slični klasičnima, razlika je u tome što propusni nisu pomiješani sa sitnim česticama i dopuštaju protjecanje oborinske vode kroz površinu. Nakon što voda prođe kroz poroznu površinu, privremeno se skladišti u podsloju šljunka ili drobljenog kamena i polako otpušta u podzemno tlo. Zbog svoje slabije nosivosti preporučuju se za prometnice sa slabim prometom, biciklističke staze i pješačke kolnike [10].

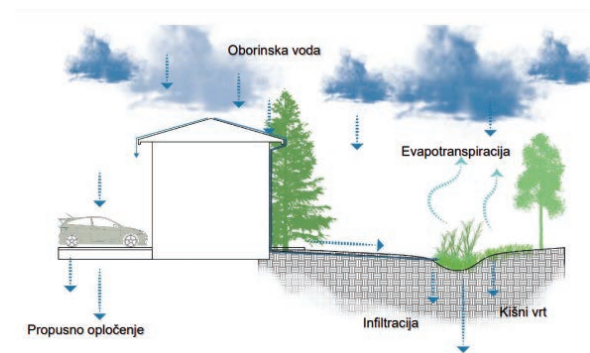


Slika 6. Usporedba normalnog i propusnog asfalta i prikaz propusnog betona [10]

U slučajevima kad je teško ili nemoguće zadržati ili primijeniti postojeći alternativni način odvodnje oborinskih voda (uski centri naselja s mnogo nepropusnih prometnih i drugih javnih površina, institucija i komercijalnih sadržaja), iste će se odvoditi zatvorenim ili otvorenim vodonepropusnim kanalima do najbližeg pogodnog prijemnika, ili uvoditi u postojeći sistem oborinske odvodnje (zatravljani jarci i kanali, cestovni jarci).

Među stanovništvom bi trebalo promovirati ideju o korištenju oborinskih voda za potrebe kućanstva (ispiranje nužnika, zalijevanje travnjaka, cvjetnjaka i vrtova). U tom smislu bilo bi dobro organizirati savjetodavnu službu u gradovima gdje bi potencijalni korisnici dobili potrebnu tehničku i savjetodavnu podršku.

Na području, gdje god je to moguće, trebalo bi poticati rješenja odvodnje oborinskih voda sa krovova i dvorišta, bez odvoda ili s reduciranim odvodom izvan parcele (slika 7). Time bi se smanjile mogućnosti formiranja bujica, a s time erozije i odnošenja materijala u vodotoke, smanjilo opterećenje sistema za odvodnju oborinskih voda i popravio općenito vodni režim [10].



Slika 7. Prijedlog izvedbe kišnog vrta u kućanstvima [10]

Tehnike i tehnologije koje se u tu svrhu mogu primijeniti najbolje se primjenjuju u naseljima sa individualnim posjedima i velikim okućnicama. Poznate su pod skupnim nazivom Low Impact Development (LID), odnosno urbanim razvojem smanjenog negativnog utjecaja na vodni režim i okoliš općenito. Obuhvaćaju tehnička rješenja koja se temelje na zadržavanju ili retardaciji, akumulaciji, mehaničkoj i biološkoj filtraciji, infiltraciji oborinskog otjecanja, pojačanoj evapotranspiraciji, korištenju oborinskih voda, posebnom oblikovanju prostora. Neka od njih mogu biti umjetne močvare-biljni uređaji, lagune za retenciju i akumulaciju, pješčani filtri, a uz njih još idu i kišni vrtovi, podzemne retencije, podzemni

pješčani filtri, zeleni zidovi, zeleni krovovi i dr. Bilo bi vrlo dobro kad bi primjena tehnika LID postala obvezna kod urbanističkog planiranja i izgradnje svakog novog objekta [10].

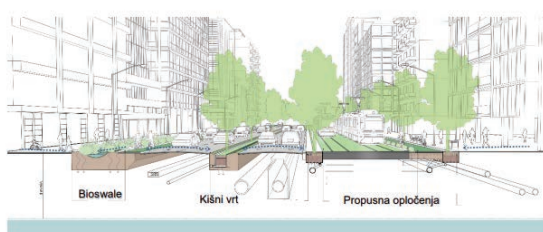
3.1. Troškovi i koristi održivih sistema urbane odvodnje

Troškovi održivih sistema urbane odvodnje su promjenjivi i zavise od konkretnih osmišljenih i provedenih akcija prilagodbe. Veći troškovi odnose se na složene zahvate obnove urbanog prostora i njegove infrastrukture. Transformacija širokog urbanog područja zahtijeva dugoročnu viziju i financiranje iz javnih izvora. Mjere manjeg opsega (npr. vegetativni pojas uz saobraćajnice) jeftinije su i lakše ih je provesti; međutim, donose više koristi na lokalnom nivou u usporedbi sa širim transformativnim pristupom [10].

Koristi uključuju sveukupno smanjenje ranjivosti urbanih područja na poplave, a time i smanjenje kvarova, neučinkovitosti i prekida usluga u slučaju ekstremnih klimatskih događaja. Ove mjere prilagodbe pružaju važne popratne koristi za ublažavanje klimatskih promjena jer sve mjere, uključujući vegetaciju, doprinose apsorpciji CO₂. Unapređenje zelenih površina također osigurava staništa za vrste koje obitavaju u urbanim područjima, kao i priliku za rekreativne aktivnosti. Zelene površine također mogu doprinijeti smanjenju zagađenja zraka, smanjenju učinka urbanog toplinskog otoka i drugih posljedica klimatskih promjena na zdravlje [10]. Kako neke od mjera koje se bave smanjenjem otjecanja oborinskih voda imaju pozitivne učinke na kvalitetu života u urbanim područjima iz perspektive ekologije i društva, one također povećavaju vrijednosti postojećeg kapitala i mogu privući nove investicije.

Provedba mjera za smanjenje otjecanja oborinskih voda u urbanim područjima može zahtijevati nekoliko godina (otprilike 2-5 godina)

ili manje. Vrijeme provedbe ne ovisi samo o opsegu mjere, već i o dostupnosti finansijskih resursa. Potpuni prijelaz na grad/teritorij otporan na klimatske promjene dugotrajan je i spor proces. Tako dugo razdoblje može predstavljati prepreku za ovu vrstu intervencija, povrh finansijskih troškova. Pritom je vrlo važno održavanje: ono može predstavljati opterećenje, međutim, osigurava dugoročni vijek trajanja provedenih mjera [10].



Slika 8. Prikaz ulice sa elementima zelene infrastrukture [10]

4. Zaključci

Urbana područja, posebice gradovi, prepoznati su kao pokretači ekonomskog rasta, ali imaju i najveći utjecaj na održivi razvoj. Važan faktor održivog razvoja je unaprjeđenje održivosti urbanih područja, poboljšanje okoliša i povećanje kvalitete života u gradovima.

Međutim, sve više gradova bori se s izazovima neodržive urbanizacije, degradacijom i gubitkom prirodnog kapitala, klimatskim promjenama i povećanjem rizika od prirodnih katastrofa. S obzirom da trenutno 75% europskog stanovništva živi u urbanim područjima, ključnu ulogu u rješavanju razvojnih izazova kao što su klimatske promjene i učinkovito korištenje resursa može igrati stvaranje, očuvanje i upravljanje zelenom infrastrukturom u urbanim područjima.

Pravilno upravljanje oborinskim vodama, postaje jedan od važnih segmenata unutar održivog razvoja. Odvodnja oborinskih voda novoizgrađenih gradskih naselja često

predstavlja izazov zbog različitih prostornih ograničenja i mogućnosti priključenja na postojeći gradski sistem odvodnje otpadnih voda. Urbanizacijom i naglim razvojem gradova dolazi do povećanja nepropusnih površina, što smanjuje mogućnost infiltracije oborinskih voda u podlogu te povećava otjecanje površinskih voda

Složeni problemi zahtijevaju inovativna rješenja i interdisciplinarnu pristupe. Stoga, umjesto tradicionalnih rješenja u projektiranju sistema za odvodnju oborinskih voda i mjera ublažavanja urbanih poplava koje se često temelje na izgradnji predimenzionirane podzemne infrastrukture, prilagodba na urbane poplave nedavno je preusmjerena prema novim pristupima – tzv. održivim sistemima urbane odvodnje oborinskih voda (eng., Sustainable Urban Drainage System, SUDS). U teoriji, SUDS pristup ima za cilj povratak urbaniziranog sliva hidrološkim uvjetima kakvi su postajali prije urbanizacije. U praksi, to je integrirani pristup urbanom razvoju i tehnika upravljanja urbanim vodnim sistemima, koja predlaže nestrukturane i strukturne mjere za smanjenje rizika od poplava.

Osim toga, ovakav pristup poboljšava kvalitetu stanovanja i života, povećava vrijednost zgrada i okoliša, unaprjeđuje ekološke, ekonomske i socijalne karakteristike i poboljšava zaštitu prostora u cjelini, a kroz poboljšanje mikroklimе i ublažavanje efekata suše, ublažava ili čak eliminira posljedice klimatskih promjena.

Potrebno je angažirati čitave zajednice, a posebno donositelje odluka poput lokalnih upravitelja te privatnih vlasnika, uz stručnjake koji bi direktno sudjelovali u ostvarivanju zamišljenih planova prilagodbe klimatskim promjenama i prepoznavanju važnosti uloge prirode.

LITERATURA

- [1] H. Penić, Integralni koncept odvodnje urbanih oborinskih voda u krškim područjima – Diplomski rad, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, (2016).
- [2] A. Budim, Utjecaj pretjerane urbanizacije na ekološku održivost – Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu – Ekonomski fakultet (2019).
- [3] Tošić et al., Utjecaj poplava na povišeni sadržaj teških metala u inundacijskom području rijeke Drave, Hrvatske vode 27(2019)110 305-316.
- [4] J. Petrović, Uvod u hidrologiju-Skripta: Građevinski fakultet Beograd, (2001).
- [5] L. Hoang, R. A. Fenner, System interactions of stormwater management using sustainable urban drainage systems and green infrastructure, Urban Water Journal 13(2016)7, pp. 739-758.
- [6] http://ppipo.bdcentral.net/data/dokumenti/pdf/Strategija_prilagodjavanja_i_niskoemisionog_razvoja_BiH_2020-2030_Nacrt-april_2020.pdf - pristupljeno 05.05.2022.
- [7] Lj. Vasilevska, B. Blagojević, Integrisano upravljanje atmosferskim vodama u okviru stambenih područja: Studija slučaja, Quartiers Verts, Beč, Zbornik radova Građevinskog - arhitektonskog fakulteta u Nišu, br. 28 UDK:551.577(436.1)
- [8] K. Potočki, D. Vouk, N. Kuspilić, Smanjenje rizika od poplava u urbanim sredinama pomoću integralnih zelenih rješenja, VII. Konferencija Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa – Zbornik radova (2018).
- [9] Bedan, E.S., Clausen, J.C., Stormwater runoff quality and quantity from traditional and low impact development watersheds, J. Am. Water Resour. Assoc., 4, 998-1008, (2009).
- [10] L. Peranić, Održivi sistemi odvodnje u urbanim područjima na Mediteranu – Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu- Agronomski fakultet, (2019).

Riječki izvori u sušnom razdoblju

/

Springs of Rijeka during the draught period

Vanda Piškur

Nastavni zavod za javno zdravstvo
Primorsko-goranske županije
Krešimirova 52 a, Rijeka, Hrvatska
vanda.piskur@zjzpgz.hr

Arijana Cenov

Nastavni zavod za javno zdravstvo
Primorsko-goranske županije
Krešimirova 52 a, Rijeka, Hrvatska

Sanja Živković

Nastavni zavod za javno zdravstvo
Primorsko-goranske županije
Krešimirova 52 a, Rijeka, Hrvatska

Tea Frković

Nastavni zavod za javno zdravstvo
Primorsko-goranske županije
Krešimirova 52 a, Rijeka, Hrvatska

Darija Vukić Lušić

Nastavni zavod za javno zdravstvo
Primorsko-goranske županije
Krešimirova 52 a, Rijeka, Hrvatska;
Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
Braće Branchetta 20, Rijeka, Hrvatska

Belma Hajdarević

Nastavni zavod za javno zdravstvo
Primorsko-goranske županije
Krešimirova 52 a, Rijeka, Hrvatska

Danijela Lenac

3KD Vodovod i kanalizacija d.o.o.
Dolac 14, Rijeka, Hrvatska

Damir Togunjac

3KD Vodovod i kanalizacija d.o.o.
Dolac 14, Rijeka, Hrvatska

Riječki vodoopskrbni sustav čini sedam izvorišta, ukupne minimalne izdašnosti do 2.430 l/s: izvor Rječine (kota izviranja 325 m n.m.) te priobalni izvori Zvir I i galerija Zvir II, Martinšćica, Perilo, Dobra i Dobrica. U radu su obrađeni i analizirani rezultati srednjih mjesečnih zahvaćenih količina vode, broj dana presušivanja u godini za izvor Rječina, kao i srednje godišnje količine oborina za to područje, u razdoblju od 2000. – 2021. godine. Najvećim dijelom godine potrošači vode na riječkom području opskrbljuju se vodom iz izvorišta Rječina, uglavnom gravitacijskim sustavom. Osnovni nedostatak vodoopskrbe predstavlja presušivanje izvora Rječine, koje se javlja svake godine. Za riječku vodoopskrbu najkritičnija je bila 2013. godina s najvećim brojem suhih dana izvora (160 dana), najmanjom srednjom godišnjom količinom oborina (85 mm) te srednjom vrijednosti količine zahvaćene vode (0,473 m³/s). To je ujedno bila i jedina godina kada je u vodoopskrbni sustav uključen vodozahvat Zvir II, koji predstavlja stratešku rezervu vodoopskrbe u izrazito sušnim razdobljima. Analizom podataka utvrđen je trend povećanja broja dana u godini s presušivanjem. U prosjeku, u promatranih 22 godine, izvor je bio suh 70 dana godišnje (od svibnja do listopada, s najsušnijim srpnjem, kolovozom i rujnom). U sušnom razdoblju zabilježena su povremena prekomjerna zaslanjenja izvora Dobrica (maksimalno 1.866 mg/l).

Ključne riječi

Izvorišta riječkog vodoopskrbnog sustava, presušivanje izvora Rječine, zahvaćanje vode, zaslanjenje izvora, koncentracija klorida

Rijeka's water supply system consists of seven springs with a total minimum yield of up to 2.430 l/s: Rječina spring (spring elevation 325 m MSL) and coastal springs Zvir I and gallery Zvir II, Martinšćica, Perilo, Dobra and Dobrica. This study aims at the analysis of the results of the average monthly amount of water that is abstracted, the number of days drying out for the Rječina spring per year, as well as the average annual precipitation amounts for that area in the period from 2000 – 2021. For most of the year, water consumers in the Rijeka area are supplied with water from the Rječina spring, mainly by gravitational system. The main disadvantage of water supply is the drying up of the Rječina spring, which occurs every year. The most critical year for Rijeka's water supply was 2013, with the highest number of dry spring days (160 days), the lowest average annual rainfall (85 mm) and the lowest mean value of the volume of water abstracted (0,473 m³/s). It was also the only year when the Zvir II water intake was included in the water supply system, which represents a strategic reserve of water supply in extremely dry periods. The analysis of the data revealed a trend of increasing the number of days in the year with drying out. On average, in the studied 22 years, the spring was dry 70 days a year (from May to October, with the driest July, August and September). During the dry period, occasional excessive salinization of the Dobrica spring was recorded (maximum 1.866 mg/l).

Key words

Springs of Rijeka's water supply system, spring of Rječina drying out, water abstraction, salinization of fresh water, chloride concentration

Unutar Jadranskog sliva na području Rijeke i okolice izdvojena su dva podsliva, sliv izvora u gradu Rijeci (Rječina, Zvir I, Zvir II, Martinšćica) i sliv izvora u Bakarskom zaljevu (Perilo, Dobra i Dobrica), [1]. S gledišta vodoopskrbnog potencijala sliv izvora u gradu Rijeci površinom je najveći (oko 465 km²) i u Hrvatskom primorju najvrjedniji sliv. Najveći dio sliva izvora u gradu Rijeci zauzima brdsko-planinsko područje Gorskog kotara (hrvatski i slovenski Snježnik) s oborinama višim od 3.500 mm godišnje.

Prosjek za cjelokupni prostor iznosi 3.000 mm godišnje, međutim s izraženim sezonskim varijacijama distribucije oborina [2.].

Izvor Rječine predstavlja najvišu razinu istjecanja podzemnih voda, a prihranjuje se s područja vodonosnika jadranskog sliva Hrvatske i Slovenije. Izvor je za javnu vodoopskrbu kaptiran 1915. godine za potrebe Sušaka (danas dio Rijeke), a u vodoopskrbni sustav uključen je gravitacijskim cjevovodom kapaciteta 2.000 l/s [2.]. Za sušnih razdoblja izvor presušuje, što u vrlo sušnim razdobljima traje i po nekoliko mjeseci. Izvor je suh prosječno 42 dana godišnje, s rasponom

suhih dana u recentnom razdoblju od 0 (2014. godine) do najviše zabilježenih 160 dana (2003. godine). Hidrološkom analizom utvrđen je trend povećanja broja dana u godini s presušivanjem [3.].

Izdašnost izvora kreće se u rasponu od 0 do oko 60 m³/s [2.]. Komunalnom društvu Vodovod i kanalizacija Rijeka dodijeljena je koncesija na 1.800 l/s. Povoljni visinski položaj (kota istjecanja 325 m n.m.) izvora Rječina omogućuje vodoopskrbu najvećeg dijela korisnika gravitacijskim sustavom [4.].



Slika 1. Izvor Rječine a) u sušnom razdoblju i b) razdoblju aktivnog crpljenja vode

Izvori uz desnu obalu Rječine, Zvir I, Zvir II, te priobalni izvor Martinščica u istoimenoj uvali predstavljaju najnižu razinu istjecanja prethodno opisanog sliva.

Izvor Zvir I predstavlja najvažniji izvor vodoopskrbe grada Rijeke u uvjetima kada izvor Rječine presuši. Izvor je stalan, a razina istjecanja se, ovisno o hidrološkim prilikama, nalazi na 2-6 m n.m. Do 1985. godine kapacitet vodozahvata izvorišta bio je oko 900 l/s. Spuštanjem crpki za 1 m, kapacitet vodozahvata povećan je na 1.400 l/s. Provedenim istraživanjima probnog crpljenja i spuštanja usisa crpki do kote 0.00 m n.m. kapacitet vo-

dozahvata povećan je na približno 2.000 l/s. Crpna stanica Zvir danas ima instalirano 13 crpki kapaciteta od 3.370 l/s, od kojih je radno 9 crpki kapaciteta od 1.950 l/s [2.].

Izvorište Zvir II predstavlja relativno novi vodozahvat riječkog vodoopskrbnog sustava. Nalazi se oko 300-tinjak metara jugozapadno od izvora Zvir I. Na mjestima jače pukotinsko-kavernozne poroznosti u galeriji izvedeno je 6 kopanih zdenaca dubine od 12 m. Ukupna izdašnost izvorišta Zvir II iznosi 600 l/s [2.].

Krajem 1980-tih godina zapaženo je da je jedan zdenac (B 4) onečišćen mazutom, a utvrđeno je da taj mazut potječe iz spremnika toplane stambenih objekata naselja Kozala, smještenog iznad galerije. Nažalost, premda su poduzimane različite mjere sanacije, do danas se navedeno onečišćenje nije uspjelo sanirati.

Obzirom na ovu činjenicu kao i na dostatne kapacitete izvora Zvir I, vodozahvat Zvir II uključen je u vodoopskrbu riječkog područja samo tijekom 2003. godine, kada je u kolovozu i rujnu iscrpljeno prosječno mjesečno 436 l/s.

Nakon izuzetno sušnog kolovoza s visokim temperaturama u kolovozu 2017. godine, crpljenje Zvira II bilo je u pripremi, međutim, jačim crpljenjem bunara u Martinščici i izvorišta Perilo, količine kaptirane vode bile su dostatne [4.]. Danas izvorište Zvir II služi kao strateška rezerva za vodoopskrbu u iznimno sušnim razdobljima godine.

Izvorište Martinščica nalazi se u istoimenoj uvali, a intenzivna istraživanja na ovom području započela su nakon ljeta 1921. godine kada je nakon presušivanja izvora Rječine vodoopskrba riječkog područja došla u pitanje. Izvor pripada jednom od izvora stalne izvorišne zone sliva izvora u gradu Rijeci. U vodoopskrbni sustav uključen je u razdoblju od 1921-1925. godine. [1.]. Sam

vodozahvat izveden je kopanim zdencima, čiji je broj povećan u skladu s povećanjem potreba za vodom. Izvorište je priobalno, pa se u uvjetima izrazitih suša zaslanjuje, pod utjecajem prodora mora u zaleđe vodonosnika. Utvrđena su zaslanjenja na zdencima B1, B2, B4, dok zaslanjenja na zdencima B3 i B5 nisu zabilježena [2.]. Danas je na vodocrpilištu instalirano 6 crpki ukupne izdašnosti 450 l/s, a koristi se 300 l/s. Kapacitet crpilišta varira u ljetnom razdoblju u ovisnosti o intenzitetu prodora mora u zaleđe vodonosnika. [2.].

Kaptažni vodozahvat Perilo smješten je na udaljenosti od 340 m od mora na nadmorskoj visini od 55 m i u užem smislu pripada priobalnom izvorištu. Kaptaža je puštena u eksploataciju 1985. godine, nakon pojave jačeg zaslanjenja, a ta su se zaslanjenja događala periodično za vrijeme vrlo sušnih razdoblja. Na vodocrpilištu Perilo instalirane su 3 crpke ukupne izdašnosti svake od po 80 l/s. Za vodoopskrbu se koriste maksimalno dvije crpke odnosno 160 l/s [2.].

Izvorište Dobra tipičan je krški priobalni izvor. Prvotno je izvor Dobra bio kaptiran za potrebe željeznice, a nakon provedenih istraživanja osigurava javnu vodoopskrbu prvenstveno grada Bakra i naselja u zaleđu. Zbog svog priobalnog položaja, karbonatni vodonosnik podlozan je utjecaju mora, što, također, u sušnim hidrološkim prilikama dovodi do periodičnih zaslanjenja ili, kao i kod izvora Perilo, prilikom precrpljivanja vode [4.]. Kaptaža izvora izvedena je drenažnim rovom duljine od oko 20 m, usporednim s obalnom linijom, odakle se voda crpi crpkom maksimalnog kapaciteta od 48 l/s [2.].

Izvorište Dobrica smješteno je uz obalni pojas, na udaljenosti od oko 500 m od mora. Izgrađeno je 1966. godine, a izvedeno je iskopom drenažnog rova duljine od oko 60 m. Na kraju drenažnog rova izvor je spojen sa sabirnim zdencem u koji je spuštena usisna košara

crpki [4.]. Njegov smještaj uz obalu mora kao i geološki uvjeti pojavljivanja omogućuju povremeni prodor mora u duboko zaleđe vodonosnika, što uvjetuje narušavanje odnosa slatke i bočate vode i zaslanjenje samog izvora. Izdašnost izvora oscilira u rasponu od minimalnih 110 l/s do nekoliko stotina l/s. Premda su instalirane 4 crpke kapaciteta od oko 240 l/s, radnog kapaciteta od 180 l/s, stvarni kapacitet crpljenja ne prelazi 130 l/s, a i u takvim je uvjetima dolazilo do precrpljivanja i, kao posljedica toga, zaslanjenja izvora [2.]. To je posebno izraženo u ekstremnim sušnim uvjetima, kao što su oni zabilježenih 2003. godine, kada je zaslanjenje izvora nastavljeno usprkos smanjenju kapaciteta crpljenja na svega 10 do 15 l/s.

U radu su obrađeni i analizirani rezultati srednjih mjesečnih vrijednosti zahvaćene količine vode riječkih izvora i dani presušivanja za vodu izvora Rječina, u razdoblju od 2000. do 2021. godine.

1. Materijali i metode

Podaci o zahvaćenim količinama vode i dani presušivanja izvora Rječina dobiveni su od KD Vodovod i kanalizacija Rijeka.

Podaci o količinama oborina na području grada Rijeke dobiveni su od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ). Prikazane su i analizirane srednje vrijednosti oborina.

Vrijednosti koncentracija klorida i sulfata ispitivane su tijekom provedbe monitoringa izvorišta, koji je obavljao Nastavni Zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske Županije (NZZJZ PGŽ).

Kloridi i sulfati određivani su metodom ionske kromatografije HRN EN ISO 10304-1:2009.

2. Rezultati i rasprava

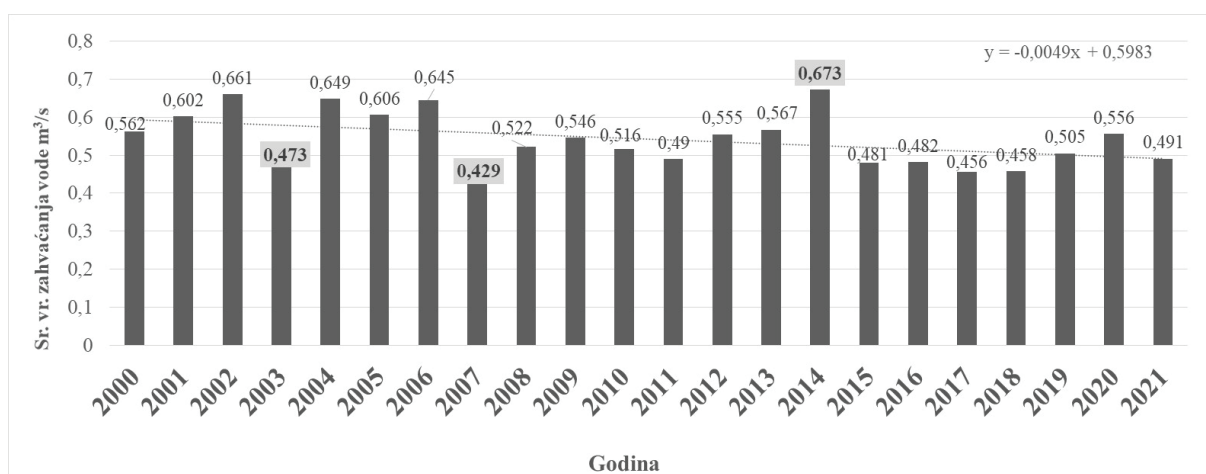
Na slici 2. prikazane su srednje vrijednosti zahvaćene količine vode u m³/s za izvorište Rječina u razdoblju od 2000. do 2021. godine. Najmanja srednja vrijednost od 0,429 m³/s izmjerena je 2007. godine, a najveća u 2014. godine. Tijekom 2014. godine srednja vrijednost količine zahvaćanja od 0,673 m³/s bila je najviša u promatranom razdoblju od 22 godina. Zbog izuzetno kišnog razdoblja od lipnja do kolovoza izvor po prvi put od 1977. godine nije presušio. Vidljiv je i blagi trend smanjenja zahvaćene količine vode od 2014. do 2021. godine uz iznimku zanemarivog rasta u 2020. godini.

Na slici 3. vidljiva je vrlo dobra podudarnost između srednje vrijednosti količine oborina na postaji Rijeka i protoka izvora Rječine u promatranom razdoblju. Niže srednje vrijednosti oborina imaju za posljedicu niže vrijednosti količina zahvaćanja vode, kao što je to vidljivo 2003., 2007. i 2017. godine. Za 2017. godinu treba naglasiti da su srednje vrijednosti zahvaćanja vode relativno niske (0,456 m³/s), uzimajući u obzir srednje mjesečne količine oborina na postaji Rijeka od 145 mm. Tu činje-

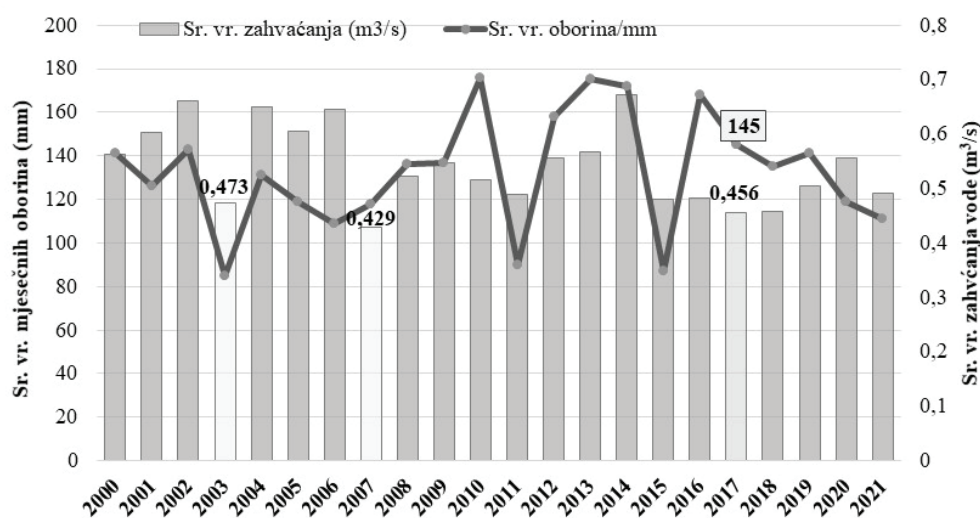
nicu Bonacci i sur. objašnjavaju ograničenim maksimalnim izlaznim kapacitetom brojnih krških izvora u Dinarskom kršu [3.].

Slika 4. prikazuje dane kada voda izvora Rječine, zbog nedovoljnih količina vode za vodoopskrbu, nije crpljena. Dani presušivanja uglavnom pripadaju razdoblju od svibnja do listopada. Srpanj i kolovoz najsušniji su mjeseci dok su preljevni protoci izvora Rječine najizdašniji u mjesecu studenome.

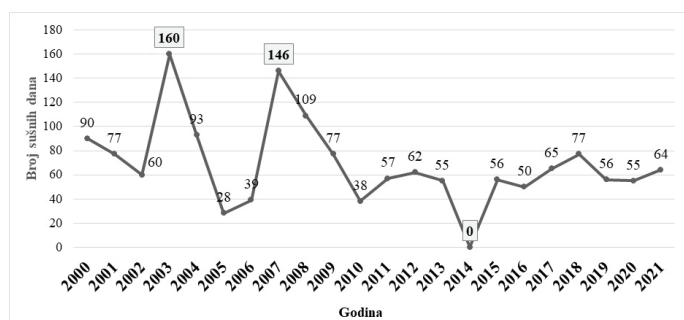
Najveći broj dana presušivanja zabilježen je 2003. godine (160 dana; srednja godišnja količina oborina od 85, najmanja u promatranom razdoblju) i 2007. godine (146 dana; srednja godišnja količina oborina 118 mm), odnosno 43,8 % (2003. godine), tj. 40 % (2007.) godine. Srednja vrijednost broja suhih dana u promatranom dvadesetdvo godišnjem razdoblju iznosila je 70. Jedina godina u kojoj izvor Rječine nije presušio bila je 2014. godina, sa srednjom godišnjom količinom oborina od 172 mm. Iz navedenog je vidljivo da je hidrološki režim izvora Rječine izrazito varijabilan te jako ovisan o kratkotrajnim intenzivnim oborinama i stanju razine podzemnih voda u krškom vodonosniku [3.].



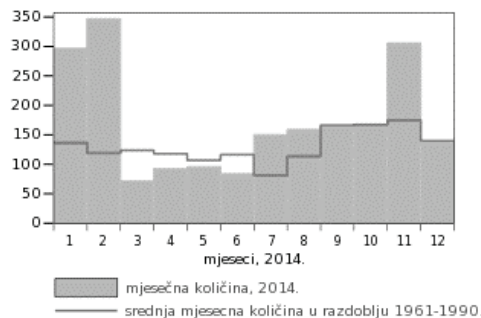
Slika 2. Srednje vrijednosti količina zahvaćanja vode izvora Rječina



Slika 3. Usporedba srednjih vrijednosti zahvaćanja vode (izvor KD VIK, Rijeka) i srednjih vrijednosti mjesečnih oborina (izvor DHMZ) u razdoblju od 2000. do 2021. godine



Slika 4. Broj dana presušivanja izvora Rječine u razdoblju od 2000. do 2021. godine



Slika 5. Mjesečna količina oborina 2014. godine (izvor DHMZ)[5.]

Tijekom 2014. godine zabilježene količine oborina u srpnju i kolovozu premašile su srednje mjesečne količine oborina za razdoblje od 1961. – 1990. godine (slika 5.).

Količine zahvaćanja vode na svim izvorištima riječkog vodoopskrbnog sustava prikazane su u tablici 1. za godine: 2003., 2007., i 2017. i tablici 2. za 2021. godinu.

Može se primijetiti da su 2003. godine, kada je zabilježen najveći broj dana presušivanja izvora (izvor je presušio već u svibnju, 21.05.2003.), zajedno s vodom izvora Zvir I i Martinšćica zahvaćale i određene količine izvora Perilo, Dobra i Dobrica, a od srpnja su se morali uključiti i bunari u galeriji Zvir II.

Unatoč smanjenju kapaciteta crpljenja na svega 10 l/s, došlo je do zaslanjenja izvora Dobra i Dobrica. Uslijed jake suše od srpnja su se postupno sve više crpili bunari u galeriji Zvir II, međutim, tad do danas vodozahvat Zvir II više nije uključen u vodoopskrbu.

Godine 2007. izvor Rječine u srpnju naglo presušuje, a njegovo postupno uključivanje počelo je tek u prosincu. Izvori Dobra i Dobrica crpljeni su smanjenim kapacitetom.

Tijekom 2017. godine jaka suša u kolovozu nagovijestila je potrebu za ponovnim uključivanjem bunara galerije Zvir II (2 l/s), međutim, nagle rujanske oborine ipak omogućuju uključivanje izvora Rječine u vodoopskrbu.

Količine zahvaćanja vode l/s							
Mjeseci	Zvir I	Zvir II	Martinšćica	Perilo	Dobra	Dobrica	Izvor Rječine
2003.							
siječanj	2	0	0	0	0	0	839
veljača	162	0	43	4	0	4	651
ožujak	130	0	39	6	0	7	698
travanj	0	0	0	0	0	0	841
svibanj	205	0	60	8	0,38	8	682
lipanj	834	0	164	83	30	40	0
srpanj	883	89	180	70	28	43	0
kolovoz	925	436	186	7	35	48	0
rujan	823	440	166	0	10	10	0
listopad	448	0	95	43	1	14	266
studenj	0	0	0	0	0	0	838
prosinac	0	0	0	0,3	0	0	796
2007.							
siječanj	0	0	0	0	0	0	713
veljača	0	0	0	0	0	0	713
ožujak	0	0	0	0	0	0	719
travanj	17	0	0	0	0	0	813
svibanj	120	0	66	0	0	0	645
lipanj	26	0	9	0	0	0	813
srpanj	708	0	156	53	18	19	90
kolovoz	691	0	144	68	24	19	0
rujan	664	0	117	65	16	14	0
listopad	590	0	130	68	5	20	0
studenj	557	0	124	66	0	24	0
prosinac	103	0	19	13	0	4	599
2017.							
siječanj	201	0	26	0	0	0	401
veljača	0	0	26	0	0	0	620
ožujak	0	0	25	0	0	0	541
travanj	28	0	26	0	0	0	569
svibanj	0	0	25	0	0	0	584
lipanj	302	0	25	27	6	4	380
srpanj	470	0	24	66	10	16	216
kolovoz	672	2	41	129	11	23	0
rujan	234	0	38	40	3	2	416
listopad	3	0	0	0	0	6	596
studenj	51	0	24	0	0	5	588
prosinac	22	0	26	0	0	0	714

Tablica I. Količine zahvaćanja vode na svim izvorima riječkog vodoopskrbnog sustava za godine: 2003., 2007. i 2017.

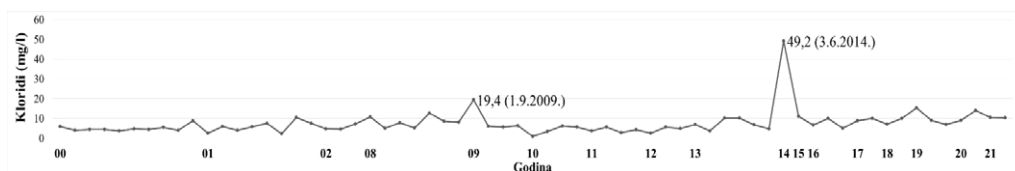
Količine zahvaćanja vode l/s							
Mjeseci	Zvir I	Zvir II	Martinšćica	Perilo	Dobra	Dobrica	Izvor Rječine
siječanj	0	0	21	0	0	4	610
veljača	0	0	17	0	2	2	618
ožujak	0	0	24	0	2	2	672
travanj	0	0	23	0	2	2	644
svibanj	4	0	22	0	1	2	663
lipanj	88	0	41	11	1	6	656
srpanj	366	0	84	66	8	11	325
kolovoz	661	0	108	105	12	18	5
rujan	631	0	105	47	14	8	0
listopad	239	0	56	4	1	1	460
studeni	52	0	33	0	0	0	628
prosinac	0	0	20	0	0	0	613

Tablica II. Količine zahvaćanja vode na svim izvorištima riječkog vodoopskrbnog sustava za 2021. godinu

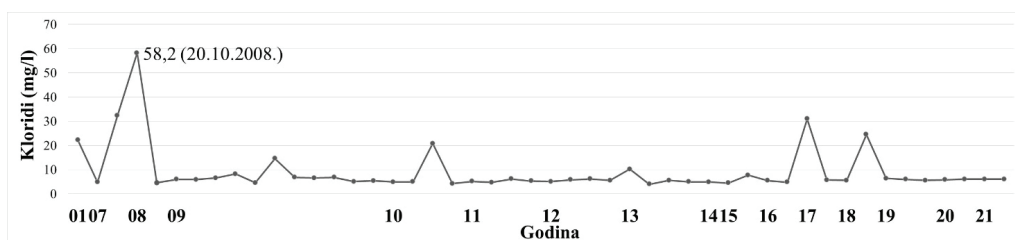
Tijekom 2021. godine, količina zahvaćanja vode izvora Rječine počela je opadati u srpnju, značajnije u kolovozu, da bi naposljetku izvor potpuno presušio u rujnu, za razliku od prethodnih godina. Tada je izvor Zvir I preuzeo glavnu ulogu u vodoopskrbi uz crpljenje priobalnih bunara u Martinšćici te izvora Perilo, Dobra i Dobrica.

Koncentracije klorida u vodi priobalnih izvora u sušnim hidrološkim prilikama jako variraju. U razdobljima zaslanjenja količine su crpljene vode manje zbog povećanja koncentracija klorida.

Monitoringom kakvoće vode izvorišta, koje je provodio NZZJZ PGŽ, u ispitanom razdoblju za izvorišta Perilo i Dobra nisu utvrđene povećane koncentracije klorida (slike 6. i 7.). Na slici 6. prikazane su koncentracije klorida u vodi izvora Perilo (N=65). Najveća koncentracija od 49,2 mg/l izmjerena je u lipnju 2014. godine (03.06.2014.), međutim, nije prelazila maksimalnu vrijednost od 250 mg/l, propisanu Pravilnikom (NN 125/2017, 39/20)[6.].



Slika 6. Koncentracije klorida u vodi izvora Perilo u razdoblju od 2000. do 2021. godine

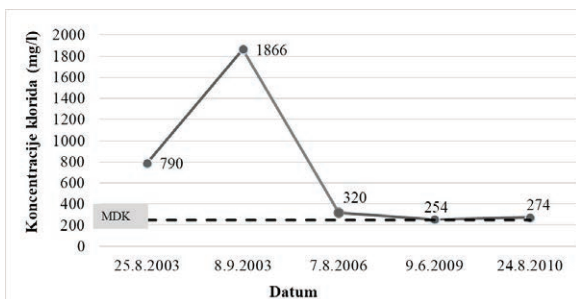


Slika 7. Koncentracije klorida u vodi izvora Dobra u razdoblju od 2001. do 2021. godine

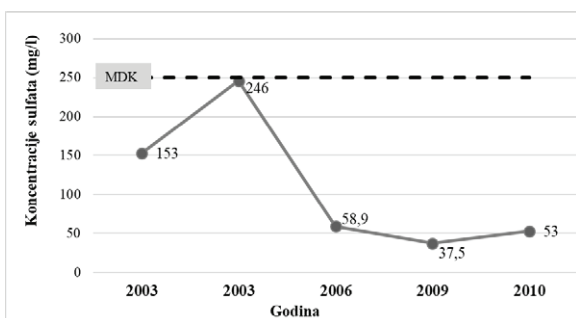
U vodi izvora Dobra u promatranom su razdoblju ispitana 48 uzorka. Dobivene vrijednosti klorida također nisu prelazile MDK vrijednost Pravilnika (NN 125/2017, 39/20), što je vidljivo na slici 7. Maksimalna koncentracija od 58,2 mg/l izmjerena je 20.10.2008. godine.

U vodi izvora Dobrica tijekom razdoblja od 2000. do 2021. godine koncentracije klorida ispitane su u 192 uzoraka. 95 % percentil svih rezultata iznosi 114,4 mg/l. Na slici 8. prikazane su vrijednosti klorida koje prelaze vrijednosti propisane Pravilnikom (NN 125/2017, 39/20).

Najviša izmjerena vrijednost od 1.866 mg/l zabilježena je u rujnu 2003. godine. (08.09.2003.). Povišene vrijednosti također su dokazane u kolovozu 2003., kolovozu 2006., lipnju 2009. i kolovozu 2010. (slika 8.). Zasljanjenja vode povezana su s dužim ljetnim sušnim razdobljem godine, u kojima radi smanjenog priljeva slatke podzemne vode i povećane potrošnje (crpljenja) dolazi do prodora mora u priobalno zaleđe izvorišta.



Slika 8. Najviše izmjerene koncentracije klorida u vodi izvora Dobrica



Slika 9. Najviše izmjerene koncentracije sulfata u vodi izvora Dobrica

Prema ugovoru između NZZJZ PGŽ i KD Vodovod i kanalizacija Rijeka, kakvoća vode izvorišta koji vodom opskrbljuju Rijeku i okolicu u promatranom se razdoblju ispitala dva puta godišnje (izuzev tri ispitivanja tijekom 2019.) Fizikalno-kemijske osobine vode svih izvorišta riječkog vodoopskrbnog sustava ocijenjene su kao dobre, osim u određenim hidrološkim prilikama, kada dolazi do zamućenja ili, kao što je prikazano u ovom radu, do zasljanjenja izvora.

3. Zaključak

Najvećim dijelom godine (u prosjeku devet mjeseci) potrošači vode na riječkom području opskrbljuju se vodom izvorišta Rječina, uglavnom gravitacijskim sustavom. Kao osnovni nedostatak vodoopskrbe javlja se redovito godišnje presušivanje izvora. U promatranom razdoblju od 22 godine (od 2000. do 2021.) prosječni godišnji broj suhих dana bio je 70.

Godina 2003. pokazala se najkritičnijom godinom za vodoopskrbu riječkog područja s najvećim brojem suhих dana izvora (160), najmanjom srednjom godišnjom količinom oborina (85 mm), najmanjom srednjom vrijednosti zahvaćanja vode (0,473 m³/s). Nakon ovog sušnog razdoblja vodozahvat Zvir II više se nije uključio za vodoopskrbu.

Kritičnima su se pokazale i 2007. godina sa 146 sušnih dana i malim količinama zahvaćanja vode (0,429 m³/s) te 2017. godina u kojoj je količina zahvaćanja vode iznosila 0,456 m³/s unatoč velikoj količini oborina od 145 mm. Iz navedenoga je vidljivo da je hidrološki režim izvora Rječine vrlo varijabilan te da uvelike ovisi o kratkotrajnim intenzivnim oborinama i stanju razine podzemnih voda u krškom vodonosniku.

Godine 2014. godine zabilježena je srednja vrijednost količine zahvaćanja vode od

0,673 m³/s, najviša u promatranom razdoblju od 22 godine. Zbog iznimno kišnog razdoblja od lipnja do kolovoza, izvor prvi put od 1977. godine nije presušio (i jedini put u promatranih 22 godine), premda su najveće količine oborina pale 2010. godine (sr. god. vr. oborina 176 mm) i 2013. godine (sr. god. vr. oborina 175 mm).

Dani presušivanja uglavnom se odnose na razdoblje od svibnja do listopada. Srpanj i kolovoz te rujan u 2021. godini, najsušniji su mjeseci dok su preljevni protoci izvora Rječine najizdašniji u mjesecu studenome.

U sušnom razdoblju izvor Zvir I preuzima glavnu ulogu u vodoopskrbi uz crpljenje priobalnih bunara u Martinšćici te izvora Perilo, Dobra i Dobrica. Izvor Zvir I je stalan i omogućuje pouzdanu vodoopskrbu grada Rijeke s okolicom. Količine zahvaćene vode variraju, ovisno o potrebama, kao i o koncentracijama klorida priobalnih izvora, obzirom na to da su ovi izvori podložni zaslanjenju. Najviša izmjerena koncentracija klorida u vodi izvora Dobrica iznosila je 1.866 mg/l (rujan 2003.).

LITERATURA

- [1] Stražičić N: Riječki izvori i vodotoci, Izdavački centar Rijeka d.o.o., Rijeka, 1999.
- [2] Novelacija granica zaštitnih zona vodocrpilišta riječkog vodoopskrbnog sustava, Geoaqua d.o.o. 2009.
- [3] Bonacci O., Oštrić M., Roje-Bonacci, T: Prilog hidrologiji krškog izvora Rječine. Hrvat. Vode 25, 100 (2017) 99-108.
- [4] Izvještaji „Kakvoća vode izvorišta vodovoda Rijeka“, Nastavni Zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije, 2011. – 2019.
- [5] Državni hidrometeorološki zavod, Mjesečna količina oborina na postaji Rijeka za 2014. godinu
- [6] NN 125/2017. Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba

koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe. Ministarstvo zdravstva, 2017

- [7] National Research Council (US) Safe Drinking Water Committee.
- [8] Drinking Water and Health: Volume 4. Washington (DC): National Academies Press (US); 1982. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK216607/>

Pregled terenskih i numeričkih istraživanja deformacije korita rijeke Željeznice na području Sarajevskog polja

/

Review of field and numerical research of the riverbed deformation of the Željeznica river in the area of field “Sarajevsko polje”

Dr.sc. Nerma Lazović

University of Sarajevo, Faculty of Civil Engineering
Patriotske lige 30, 71000 Sarajevo, B&H
nermalazovic@gmail.com

Prof. Dr.sc. Emina Hadžić

University of Sarajevo, Faculty of Civil Engineering
Patriotske lige 30, 71000 Sarajevo, B&H
eminahd@gmail.com

U radu su prikazani rezultati terenskog i numeričkog istraživanja morfoloških promjena korita rijeke Željeznice na području Sarajevskog polja, za period od 2009. do 2019. godine. Motivacija i razlozi za to istraživanje je važnost i aktuelnost samog pitanja i istraživačkog mjesta. Razmatrana tema je izuzetno aktualna sa aspekta realizacije obaveza Bosne i Hercegovine na putu ka EU, koje se ogledaju, između ostalog, u provođenju aktivnosti i programa mjera na riječnom sedimentu i morfologiji rijeka definisanih od strane EU Okvirne direktive o vodama. Rezultati terenskih istraživanja značajni su sa aspekta definisanja uticaja morfoloških promjena korita rijeke Željeznice na proces nadopunjavanja podzemnih akumulacija polja „Sarajevsko polje“, koje ima važnu ulogu u vodosnabdijevanju grada Sarajeva.

Ključne riječi

Deformacija korita, terenski podaci, numeričko modeliranje, rijeka Željeznica

The paper presents the results of the field and numerical research of morphological changes of the riverbed of the Željeznica river in the area of the field "Sarajevsko polje" for the 10-year period from 2009 to 2019. The motivation and reasons for this research was the importance and topicality of the issue itself and the research site. The discussed topic is extremely topical from the aspect of realization of Bosnia and Herzegovina's obligations on the road to the EU, which are reflected, among other things, in the implementation of activities and programs of measures on river sediment and river morphology defined by the EU Water Framework Directive.

The results of field research are important from the aspect of defining the impact of morphological changes of the riverbed of the Željeznica river on the process of replenishment of underground reservoirs of the field "Sarajevsko polje", which plays an important role in water supply system of Sarajevo city.

Key words

Riverbed deformation, field data, numerical modelling, Željeznica river

Rivers change their characteristics of watercourse beds over time - longitudinal profiles, cross sections, as well as the shape of the riverbed in horizontal projection, depending on the geological, hydrological and hydraulic characteristics of watercourses and catchment areas, and sediment characteristics [1][2].

The riverbed of the alluvial watercourse is in the process of constant adaptation to changes in water flow and sediment, as well as changes in water regime.

The causes of change can be natural phenomena and artificial - or changes due to various human activities. When the balance of the hydraulic-sediment regime of a watercourse is disturbed in any way, its reaction in the direction of establishing a new equilibrium is manifested by morphological changes (deformation of the riverbed) - erosion or backfilling, as well as changing the position of the riverbed in horizontal projection.

Fluvial processes and river morphology are determined by three main factors: flow regime and sediment yield, which are the main drivers, and valley characteristics, which establish the boundary conditions [3][4].

In general, two types of bed deformations are distinguished: (i) general deformation - refers to long river sections; and (ii) local deformation - which refers to short strokes, most often in the zone of structures built in the riverbed. [2]

This research includes the analysis of morphological changes of the riverbed in the case of a long river section (general deformation of the riverbed).

The general deformation is a consequence of the uneven transport of sediments along the length of the flow, whereby this unevenness is gradually absorbed by morphological changes in the river bed in the direction of establishing equilibrium.

The analysis of the general deformation of the riverbed, among other things, aims to predict the morphological changes of watercourses due to regulatory works and activities to ensure the function of buildings in the riverbed.

Several problems can be mentioned, the solution of which is based on calculations of general deformation: (i) analysis of riverbed erosion caused by the passage of a flood wave; (ii) prognosis of regressive erosion downstream of the dam; (iii) accumulation backfill forecast; (iv) analysis of trough deformation in the estuary zone; (v) planning of excavation works on the establishment or maintenance of navigation and excavation for construction purposes, as well as forecasting the effects of these works; (vi) analysis of riverbed deformation in the bridge narrowing zone; (vii) forecast of the consequences of taking water from the river for irrigation or water supply of the settlement.

The phenomenon of general deformation can be calculated using mathematical and physical models. The advantage of mathematical models is that they allow very long sections to be covered relatively quickly and in an economically acceptable way, which is not always the case with physical models. However, for the reliable establishment and use of mathematical models (definition of boundary conditions, calibration and verification), appropriate bases are needed that are the result of field research and measurement.

River bed deformation is a spatially three-dimensional phenomenon, but as it is an analysis of morphological changes on longer river sections, where the length of the section is 20 or more times the width of the riverbed, and transverse changes in flow rate and water level are not important, it is justified to use (1D) hydraulic calculation model. [5]

In line (1D) models of hydraulic calculation, the space is reduced to the river flow axis and the change of relevant quantities in the direction perpendicular to the flow axis (i.e. in the transverse profile of the river) is neglected. The calculation gives results in each transverse profile of the river - new water,

average profile speed, depth, surface, etc. Considering the higher resistance to flow due to vegetation in inundations in relation to the main riverbed, the hydraulic calculation in linear flow models usually uses the concept of a complex riverbed. This concept implies that the calculation is done with three adjacent 1D streams that have different lengths, in the base trough, not the left and right inundations.

Plane (2D) models are used to calculate short and local problems: i. water flows on wide inundations in high water conditions; ii. estimates of the spread of pollutants in the river bed, iii. analysis of complex flow conditions in the zones of tributaries, water intakes, bridges, etc.

Spatial (3D) models are used for the analysis of hydraulic conditions in extremely spatially variable environments, such as flow through a dam and the like.

1. Materials and methods

The primary goal of the research was to define the methodology for monitoring the spatial and temporal deformation of the riverbed caused by hydrological and hydraulic influences, based on a comprehensive analysis of the results of field, numerical and empirical research on the selected site.

The methodology of the paper consists of the following phases:

- (i) Collection and review of theoretical bases related to the considered issues;
- (ii) Overview of basic equations for calculating water flow in natural watercourses;
- (iii) Review of empirical terms for the calculation of sediment transport in the riverbed;

(iv) Field research works - geodetic surveys of the riverbed, hydrometric measurements, measurements of sediment transport, determination of granulometric composition of sediments, geodetic works in order to determine the lithological composition of the soil in the considered area, etc.

(v) Numerical modelling of hydrodynamic and morphological processes in a river bed - setting, calibration and verification of models;

(vi) Modelling of spatial and temporal deformation of the river bed.

2. Case study: Željeznica river (Sarajevo, Bosnia and Herzegovina)

2.1. Location

The Željeznica River is located in central Bosnia and Herzegovina and belongs to the Black Sea basin in terms of hydrography. It is formed by merging Godinjski and Hrašnički streams at the foot of the mountain Treskavica, near the settlement Turovi in the municipality of Trnovo at about 1200 m above sea level. The length of the Željeznica river is about 26.9 km, and the average drop is 26.2 m / km (2.6%). In the lower course, the river Željeznica flows through the settlement of Ilidža, where at the site of the so-called "Sastavci" flows into the river Bosna at about 490 m above sea level. The Željeznica River has many tributaries, the most important of which are the Crna and Bijela rivers.

Administratively and spatially, the Željeznica River flows through both entities, with the upper and lower reaches mostly in the Federation of Bosnia and Herzegovina, while the middle course flows through the Republika Srpska entity. Going from the source to the

mouth of the river Željeznica passes through the following settlements: Turovi, Tošići, Trnovo, Bogatići, Jablanica, Kijevo, Krupac, Vojkovići, Sokolović colony, Ilidža.

In its upper course, the river Željeznica has for many years, with strong movement and the sediment it carries, dug in its bottom, in a rocky base, round depressions and represent a natural phenomenon (Figure 1).



Figure 1. Upper course of Željeznica river

On the middle course of the river Željeznica in the settlement of Bogatići there is a hydroelectric power plant HPP "Bogatići" with a dam and an accumulation lake, built several years after the Second World War. About 3 km downstream, there is a mini hydroelectric power plant SHPP "Bogatići - Nova", which was put into operation in 2019.

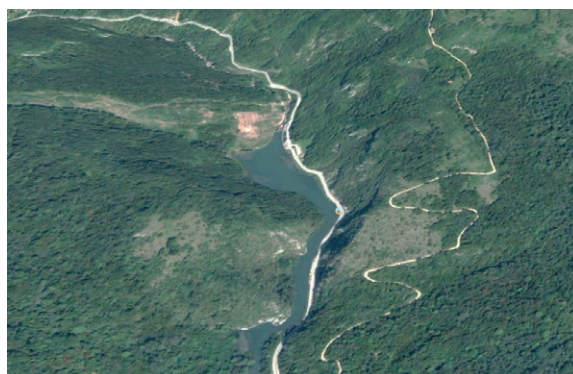


Figure 2. Accumulation lake and HPP "Bogatići"

In the lower part of the stream, the river Željeznica flows through the field "Sarajevsko polje" and the settlements of Sokolović kolonija and Ilidža. The accumulation of groundwater in the field "Sarajevsko polje" plays an important role in the water supply system of the city Sarajevo, and the river Željeznica is a significant source of recharge of underground reservoirs (30-40% of the total water balance) because it naturally infiltrates the Sokolović spring zone [6]. The amount of water that infiltrates depends on: flows in the Željeznica River, differences in river levels and underground accumulation (hydraulic gradient), and on bottom clogging and lowering of riverbed levels, due to natural and anthropogenic influences.

The entire length of the Željeznica river flows in its natural bed, and on the stretch from the bridge "Most spada" in the settlement Sokolović kolonija to the bridge in the Ilidža settlement, it is regulated in order to protect the surrounding settlements from floods.



Figure 3. Željeznica river in the settlement Ilidža

2.2. Field research of riverbed deformation

In order to research the morphological changes of the lower course of the Željeznica river in the area of the field "Sarajevsko polje", experimental / field research works were performed.

Field research of the morphological changes of the riverbed of the Željeznica River was performed for a 10-year period from 2009 to 2019 and included the following:

- i. geomorphological research of the field "Sarajevsko polje",
- ii. geomorphological research of the characteristics of the Željeznica riverbed in the field "Sarajevsko polje",
- iii. hydrological observations on the river Željeznica,
- iv. detailed geodetic measurements of the riverbed of the Željeznica river with a wider inundation belt for different years,
- v. analysis of morphological changes of the riverbed using AutoCAD, CAD - Earth and AutoCAD Civil 3D,
- vi. defining the elements of the river bed deformation measure,
- vii. hydrometric measurements and measurements of quantity and characteristics of sediments on the river Željeznica on the bridge profile in Vojkovići.

The results of field research served to consider the morphological changes that occurred on the considered section in the considered time period.

In addition, the results of the exploration work were further used for the setup, input, calibration, and verification of the numerical surveys.

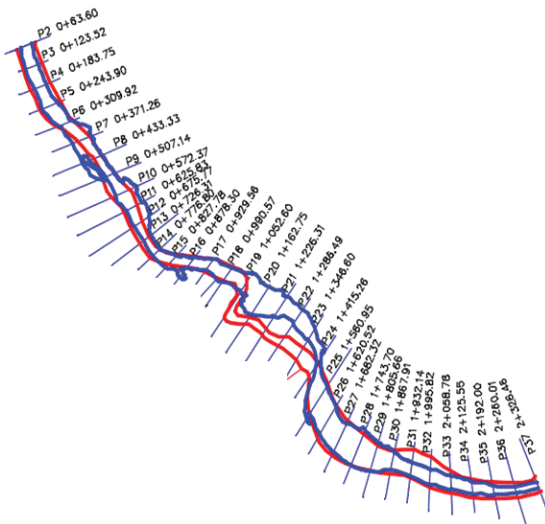


Figure 4. Geodetic recorded situation of the "Željeznica" River in 2009 (blue) and 2019 (red) with specified cross-sections [1]

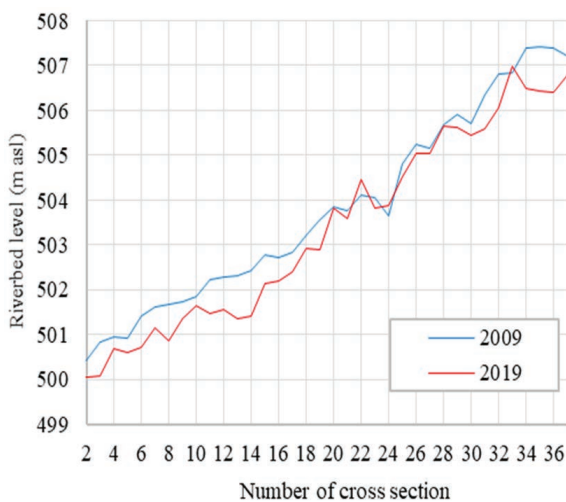


Figure 5. Longitudinal profiles of the "Željeznica" River in 2009 (blue) and 2019 (red) with specified cross-sections [1]

2.3. Numerical research of riverbed deformation

After the field research of morphological changes of the riverbed on the Željeznica river in the area of the field "Sarajevsko polje", numerical research of morphological changes of the riverbed was started. The results of field research were used for setup, input data, calibration and verification of numerical surveys.

Numerical investigations of morphological changes of the river bed modelled the height changes of the riverbed bottom elevation, i.e. the deepening and elevation of the riverbed bottom.

As it was determined through field research works that in the period 2009 - 2019 there was a shift of the Željeznica river axis in the horizontal plane on the stretch between profiles P19 and P24, for numerical modelling of morphological changes of the riverbed was selected move from profile P2 (0 +63.60) to profile P19 (1 + 052.60). On the stretch P2 - P19 in the considered time period there were no significant changes in the geometry of the transverse profiles or horizontal displacements of the flow axis.

Numerical modelling of morphological changes of the river bed was done in order to give a mathematical description of the processes of morphological changes that occurred on the considered section of the Željeznica river in the period between 2009 and 2019, i.e. to define functional dependencies between dominant processes and quantities. on morphological changes of the riverbed of the Željeznica river on the considered section and in the considered time period.

Given the complexity of the process of morphological changes of the riverbed, the hydraulic calculation is based on certain simplifications, the most important of which is that 1D flow is one-dimensional (in the direction of dominance, longitudinal dimension) and that the calculation procedure is performed in phases. riverbed), although the natural phenomenon is a continuous process.

Numerical modelling of morphological changes of the riverbed of the Željeznica river on the considered section was performed in three steps:

1. Setting and calibration of hydrodynamic (HD) water flow model;
2. Setting and calibration of the sediment transport (ST) model, which involved several very important steps, with an important segment based on the parameters of the previous two steps, the selection of the empirical equation for the calculation of sediment transport;
3. Model of morphological changes of the river bed.

For the installation, calibration and verification of numerical models, the results of field research conducted in the area of the Railway River were used, as well as recommendations for certain coefficients and parameters from the literature and other research.

Numerical modelling used the software package "HEC-RAS", designed for modelling hydrodynamic and transport processes in natural watercourses and regulated canals. The "HEC-RAS" software was developed at the Hydrological Engineering Centre (HEC) for the purpose of hydraulic calculations of river flows (RAS - River Analysis System) by the US Army Corps of Engineers.



Figure 6. Bridge "Most spasa" in the settlement Sokolović kolonija



Figure 7. Bridge in the settlement Vojkovići

3. Results and discussion

Field research

The results of field research conducted on the river Željeznica in order to observe the morphological changes of the riverbed on the section Most Spasa - most in Vojkovići for the period 2009 - 2019 are as follows [1]:

1. On the selected section of the Željeznica river in the period between 2009 and 2019, morphological changes of the riverbed occurred both in height (displacement of the riverbed bottom) and situational (displacement of the riverbed axis in the horizontal plane). Morphological changes of the riverbed for the considered time period are observed on all cross sections, and in general it can be concluded that the bottom of the riverbed is deepened up to 1 m along the entire section. The observed morphological changes are the result of the interaction of natural and anthropogenic influences.
2. Of the natural influences on morphological changes of the Željeznica riverbed, among the

most significant are high waters, i.e. flows over 100 m³/s that occurred several times in the considered period and significantly affected the morphological changes of the riverbed on the considered section.

3. The considered section of the river Željeznica is exposed to anthropogenic influences that influenced the morphological changes of the riverbed. Anthropogenic actions that affect the morphological changes of the Željeznica riverbed on the considered section are the following: i. gravel exploitation, the extent of which is difficult to estimate; ii. abstraction of water from the underground accumulation "Sarajevsko polje"; iii. regulation of the riverbed downstream from the Bridge "Most spasa" through the settlement of Ilidža, iv. facilities in the riverbed on the considered section (bridges, culverts), v. landfill of inert material on the stretch P19 - P24 in the inundation area of the riverbed (which also influenced the situational movement of the riverbed axis), vi. operation of HPP "Bogatići" with a dam and an accumulation lake (where all sediment coming from the upstream part of the basin is retained). Given the significant anthropogenic effects on the morphological changes of the river bed on the considered section of the river Željeznica, they were considered in numerical research.
4. Overlapping of geodetic cross-sections of the riverbed of the considered section of the river Željeznica recorded in 2009 and 2019, morphological changes of cross-sectional profiles of the riverbed were observed - raising / deepening of the riverbed bottom and changes in cross-sectional geometry. The analysis of morphological changes in the riverbed was performed using AutoCAD Civil 3D, by overlapping digital terrain models from 2009 and 2019 for each move and determining the amount of sediment and eroded sediment between all profiles and for the entire section.
5. Based on the recorded geodetic points of the transverse profiles of the riverbed from 2009 and 2019, longitudinal profiles of the lowest points of the riverbed bottom were formed. On the stretch P2 - P37 of the river Željeznica in the period 2009 - 2019 the largest deepening of the riverbed bottom is observed on the profile P14 ($\Delta z = -1.03\text{m}$), the largest elevation of the riverbed bottom is on the profile P22 ($\Delta z = +0.36\text{m}$), while the average height change of the river bottom is -0.44 m (deepening of the riverbed). On the stretch P2 - P19 of the river Željeznica in the period 2018 - 2019, the largest deepening of the riverbed bottom is also observed on the profile P14 ($\Delta z = -0.50\text{m}$), the largest elevation of the riverbed bottom is on the profile P12 ($\Delta z = +0.18\text{m}$), while the average change of the river bottom is -0.07 m (deepening of the riverbed bottom). A possible cause of the deepening of the riverbed bottom on the P14 profile may be the exploitation of gravel from the riverbed, which could be investigated in more detail in future research.

6. In order to perceive the morphological changes of the riverbed, dimensionless parameters or elements of the riverbed deformation measure have been defined. Elements of the river bed deformation measure include height displacements of the riverbed bottom (deepening / rising), changes in the geometry of the transverse profile and deviations of the riverbed axis.
7. As the selection of the empirical equation for the calculation of sediment transport in the riverbed is an important step in determining the prognostic numerical model, on the river Željeznica on the bridge in Vojkovići (as the entrance profile to the calculation section) hydrometric measurements of sediment transport and characteristics were performed. On the profile of the bridge in Vojkovići on the river Željeznica, the calculation of sediment transport was performed using different empirical expressions for hydrological conditions under which sediment measurements were performed. After comparing the calculated values of sediment transport by different empirical expressions with the measured sediment transport on the bridge profile in Vojkovići, the Ackers - White method was chosen as the method with the smallest deviation from the measured value of sediment transport compared to other analysed and conceptually different methods.
8. Using the Ackers - White empirical expression for the calculation of sediment transport, sediment transport was calculated on the

Vojkovići bridge profile on the Željeznica river for different flows. In this way, a curve of the dependence of water flow and sediment transport on a given profile was obtained. This dependence should certainly be further verified in future research, with additional measurements of sediment transport.

The results of field research served to consider the morphological changes that occurred on the considered section in the considered time period.

In addition, the results of the exploration work were further used for the setup, input, calibration, and verification of the numerical surveys.

Numerical research

After conducting field research on the selected site - the lower reaches of the river Željeznica and for a period of ten years (2009 - 2019), numerical research was started.

The aim of numerical research of river bed morphological changes was to mathematically describe the process of river bed morphological changes, i.e. to use mathematical expressions to describe the functional relationships between hydrodynamic flow characteristics and sediment characteristics at the selected site and for the selected time period.

Modelling of morphological changes of the river bed was performed using HEC-RAS software version 5.0, using a one-dimensional (1D) model of hydraulic calculation. The basic assumption of the 1D line model of hydraulic calculation is that the space is reduced to the river flow axis and the change of relevant quantities in the direction perpendicular to

the flow axis (i.e. in the transverse profile of the river) is neglected.

Considering the assumptions of the 1D model as well as the results of field research, the section between profiles P2 (0 + 63.60) - P19 (1 + 052.60) was selected for numerical modelling of morphological changes in the Željeznica riverbed.

Morphological changes of the river bed were modelled using three numerical models, namely: i. hydrodynamic (HD) model, ii. sediment transport (ST) model i iii. river bed deformation model.

The HD model is the basic model that gives the flow hydrodynamics on the considered river section. The results of the HD model (water levels and hydraulic characteristics on all calculation profiles) were further used as input data for ST and river bed deformation model.

Calibration of the HD model was performed by tare the Manning roughness coefficient "n" until a good agreement between the modelled and observed values of water levels on the considered section was achieved.

By calibrating the sediment transport (ST) model, the empirical equation for the calculation of sediment transport was selected, which was used to calculate the transport capacity for sediment on each calculation profile.

Based on the setting and calibration of HD and ST, riverbed deformation modelling was performed, and the results of the river bed deformation model were the riverbed bottom elevations on each calculated cross-sectional profile.

By comparing the elevation of the riverbed bottom at the beginning and at the end of the

simulation time, morphological changes were determined, i.e. whether there was an uplift or deepening of the riverbed bottom.

Verification of the model of morphological changes was performed for the period 2018 - 2019 on the stretch between the profile P2 - P17.

The results of field research (geodetic surveys of the riverbed, hydrological data, sediment characteristics, geomorphological terrain data, etc.) were used for the installation, calibration and verification of the numerical model.

Within the framework of numerical research, an analysis of the sensitivity of the parameters of the river bed deformation model was performed.

The ultimate goal of field and numerical research was to develop a 1D numerical model of river bed deformation for the lower reaches of the Željeznica River that would predict changes in riverbed geometry in the vertical plane (riverbed bottom elevation) in order to monitor uplift or deepening hydrological input data and sediment inflow data.

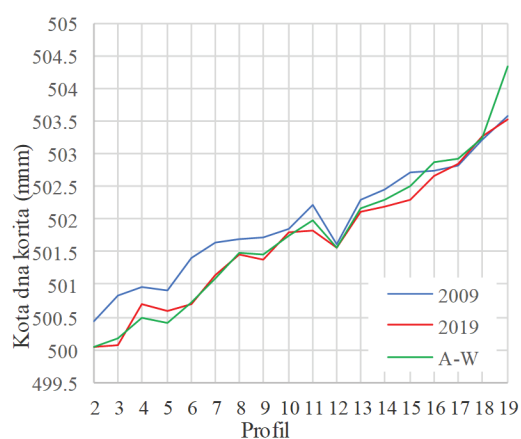


Figure 8. Longitudinal profile of the lowest points of the riverbed of the modelled section of the Željeznica River using the Ackers - White empirical equation for the calculation of the sediment and the recorded points of the riverbed in 2009. (blue) and 2019. (red)

After conducting numerical research, the conclusions are as follows:

1. Statistical analysis of the reliability of the results of the numerical model done in the programming language R using 20 different measures for the assessment of hydrological models, found a good agreement between measured and modelled riverbed elevations on the section and for the period.
Therefore, it follows that numerical simulations of the 1D numerical model can reliably predict morphological changes of the river bed in the vertical plane (riverbed bottom elevations) with prior calibration and verification of the numerical model.
2. By performing numerical simulations using HEC - RAS software for variously selected empirical equations for sediment transport calculation (Ackers - White, Engelund - Hansen, Laursen (Copeland), Meyer Peter Muller, Toffaleti, MPM - Toffaleti, Yang, Wilcock) significant deviations of the model results for differently selected empirical equations.
3. Numerical research based on simulations with different empirical equations for sediment transport calculation showed that on the considered section of the Railway the best agreement of measured and modeled riverbed elevations is achieved when numerical modeling uses Ackers - White equation for sediment transport calculation.
4. Ackers - White empirical equation for the calculation of sediment transport is based on the functional dependence of hydrodynamic flow parameters and sediment characteristics over dimensionless parameters D_{gr} - grain

parameter, F_{gr} - mobility parameter and G_{gr} - transport parameter. In the stated dimensionless parameters, apart from the values related to the hydrodynamic characteristics of the flow and sediment, the coefficients A , C , m and n appear, which are a function of the size of the middle grain of the sediment.

As part of numerical research, an analysis of the change in these parameters was performed in order to increase the accuracy and reliability of the numerical model of deformation of the river bed of the lower course of the river Željeznica.

5. Within the analysis of the sensitivity of the parameters of the river bed deformation model, the impacts of the change of the following parameters were analyzed: i. Manning roughness coefficient (HD model); ii. Mean grain sizes, ie granulometric curves (ST model); iii. Coefficients C , A , m and n of the selected empirical Ackers - White equation for the calculation of sediment transport (ST model).
6. The sensitivity analysis of the parameters (coefficients) of the empirical equation for the calculation of the drag of the drawn sediment (ST model) was done in order to define the sensitivity of the empirical equation to uncertainty in the values of input model data and optimize time to select adequate parameters of the empirical equation.
In the selected empirical Ackers - White equation for the calculation of the transfer of the drawn sediment, the coefficients n , A , m and C appear, which are a function of the size of the middle grain of the sediment, d_s (mm).

By applying the local sensitivity analysis of the coefficients n , A , m and C , it is shown which of the coefficients has the largest variations for different values of the mean grain size d_s (mm).

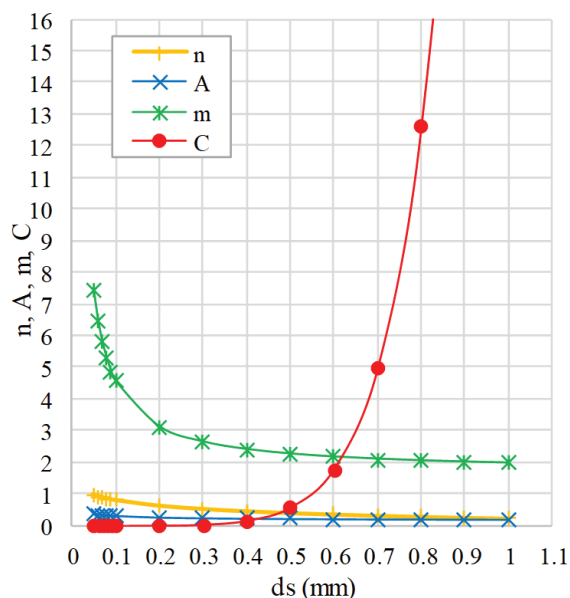


Figure 9. Results of local sensitivity analysis - variation of coefficients n , A , m and C from Ackers - White equation for mean grain values d_s in the range 0.05 - 1 mm

4. Conclusion

In this paper, an overview of experimental and numerical determination of riverbed deformation is presented. The case study was Željeznica river in the area of field "Sarajevsko polje".

Importance of determination and monitoring of riverbed deformation, especially vertical displacements of the bottom of riverbed elevation of "Željeznica" river in the area of field "Sarajevsko polje" is reflected in the facts that field "Sarajevsko polje" has an important role in the water supply system of the city of Sarajevo and "Željeznica" River is a dominant source of replenishment of underground water reservoirs.

The results of determination the magnitude of the riverbed deformation at all considered section of "Željeznica" river between 2009 - 2019 show deepening of the riverbed, as result of erosion processes caused by hydrological - hydraulic influences and anthropogenic activities.

This means a negative trend on the effect of replenishment of underground water accumulations in the field "Sarajevsko polje" and motives for further research in the field of morphological changes of riverbed and environmental protection engineering in the area of the field "Sarajevsko polje".

REFERENCES

- [1] N. Lazović, Doprinos proučavanju opšte deformacije riječnog korita primjenom terenskih i numeričkih istraživanja (doktorska disertacija), Sarajevo: Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, 2021.
 - [2] M. Jovanović, Regulacija reka - Rečna hidraulika I morfologija, Građevinski fakultet Beograd, 2008.
- (Paper published in a Special Publication after the Conference)*
- [3] Ibisate A., Ollero A., Diaz E, »Influence of catchment processes on fluvial morphology and river habitats,« Limnetica, svez. 30, br. 2, pp. 169-182, 2011.
 - [4] M.D. Newson, »Geomorphological concepts and tools for sustainable river ecosystem management,« Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, svez. 12, pp. 365-379, 2002.

Realizacija projekta RER 7013:
"Uticaj klimatskih promjena
na resuse podzemnih voda i
interakcija podzemne
i površinske vode u slivu
rijeke Save"

/

Realization of the RER 7013 project:
"Influence of climate change
on groundwater resources and
groundwater and surface water
interaction in the Sava river basin"

Prof.dr.sc. Ferid Skopljak

Federalni zavod za geologiju
Ustanička 11 Ilidža, Sarajevo, BiH
fskopljak@yahoo.com

Mr.sc.Natalija Samardžić

Federalni zavod za geologiju
Ustanička 11 Ilidža, Sarajevo, BiH

Federalni zavod za geologiju je partner u međunarodnom projektu RER 7013 "Uticaj klimatskih promjena na resurse podzemnih voda i interakcija podzemne i površinske vode u slivu rijeke Save" koji ima za cilj pratiti uticaj klimatskih promjena na površinske i podzemne vode u interakciji sa basenom rijeke Save". Projekat se realizira u okviru regionalne tehničke saradnje IAEA RER7013 čiji su ciljevi razvoj novih tehničkih kapaciteta i kompetencija u izotopskoj hidrogeologiji, te razjašnjavanje postojećih problema u regionu vezanih za održivo upravljanje prekograničnim vodnim resursima. Materijalno-tehničku podršku projektu daje Međunarodna agencija za atomsku energiju IAEA (Internacional Atomic Energy Agency) sa sjedištem u Beču. U projekat su uključene četiri države savskog regiona Slovenija, Hrvatska, Bosna i Hercegovina i Srbija. Projekat je započeo 01.01.2020. godine, a njegov završetak je 31.12.2023. godine.

Ključne riječi

Klimatske promjene, padavine, površinske vode, podzemne vode, izotopi

The Federal Institute of Geology is a partner in the international project RER 7013 "The impact of climate change on underground water resources and the interaction of underground and surface water in the Sava river basin" which aims to monitor the impact of climate change on surface and underground water in interaction with the Sava river basin. The project is implemented within the framework of regional technical cooperation IAEA RER7013, whose goals are the development of new technical capacities and competences in isotopic hydrogeology, and the clarification of existing problems in the region related to the sustainable management of transboundary water resources. Material and technical support for the project is provided by the International Atomic Energy Agency (IAEA), based in Vienna. The four countries of the Sava region, Slovenia, Croatia, Bosnia and Herzegovina and Serbia, are included in the project. The project started on 01.01.2020. year, and its end is 31.12.2023. years.

Key words

Climate changes, precipitation, surface water, underground water, isotopes

Federalni zavod za geologiju je partner u međunarodnom projektu RER 7013 “Uticaj klimatskih promjena na resurse podzemnih voda i interakcija podzemne i površinske vode u slivu rijeke Save” koji ima za cilj pratiti uticaj klimatskih promjena na površinske i podzemne vode u interakciji sa basenom rijeke Save. Projekat se realizira u okviru regionalne tehničke saradnje IAEA RER7013 čiji su ciljevi razvoj novih tehničkih kapaciteta i kompetencija u izotopskoj hidrogeologiji, te razjašnjavanje postojećih problema u regionu vezanih za održivo upravljanje prekograničnim vodnim resursima.

Materijalno-tehničku podršku projektu daje Međunarodna agencija za atomsku energiju IAEA (Internacional Atomic Energy Agency) sa sjedištem u Beču. U projekat su uključene četiri države savskog regiona Slovenija, Hrvatska, Bosna i Hercegovina i Srbija. Partner iz Slovenije su: Geološki zavod Slovenije, Institut Jožef Stefan i Slovenačka agencija za okoliš. Partneri iz Hrvatske su: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Institut Ruđer Bošković (IRB; Laboratorija za nisko radioaktivne aktivnosti), Hrvatski meteorološki i hidrološki zavod, Hrvatski geološki zavod, Hrvatske vode i Lokalne kompanije za vodosnabdijevanje. Partneri iz Bosne i Hercegovine su: Geološki zavod Federacije Bosne i Hercegovine,

Geološki zavod Republike Srpske, Federalni hidrometeorološki zavod, Republički hidrometeorološki zavod Republike Srpske, Agencije za vode sliva rijeke Save i lokalna komunalna preduzeća. Partner iz Srbije je Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, Univerzitet u Novom Sadu. Projekat je započeo 01.01.2020. godine, a njegov završetak je 31.12.2023. godine. Federalni zavod za geologiju u realizaciji Projekta svo vrijeme realizacije ima podršku Državna regulativna agencija za radijacijsku i nuklearnu sigurnost BiH, Agencije za vode sliva rijeke Save, te lokalnog vodovodnog preduzeća u Orašju.

1. Priprema projekta

Priprema Projekta započela je na osnovu pozivnog pisma koje je upućeno od IAEA posredstvom Ministarstva trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine. Nakon pripreme prijedloga projekta i njegove analize na sastanku u Beču (februaru 2020. godine) Projekat je prihvaćen i započeta je njegova realizacija.

Realizacija Projekta započela je uvozom opreme koju je donirala IAEA. Oprema i materijalna sredstva za realizaciju Projekta sadrži 1) logger za automatsko mjerenje nivoa podzemne vode i 2) uređaj za manuelno mjerenje nivoa podzemnih voda, 3) boce za uzorkovanje 1000 ml i 4) boce za uzorkovanje 60 ml 5) filter šprice i 6) pumpa za uzorkovanje podzemnih voda. Ukupna vrijednost donirane opreme je 7.148,48 EUR.

2. Ciljevi projekta

Ciljevi Projekta su osnivanje međunarodne radne grupe za praćenje klimatskih promjena, uspostava nove GNIP-a (Globalna mreža izotopa u padavinama), uspostava GNIR-a (Globalna mreža izotopa u rijekama), definirati interakciju podzemne vode i površinske vode kroz čitav tok rijeke Save od Slovenije do Srbije, identificirati područja u kojima rijeka Sava ima relevantan uticaj na podzemne vode, donijeti zaključke da li evaluacija istorijskih i novih podataka ukazuje na uticaj klimatskih promjena, te identificiranje i provođenje mjera za održivo upravljanje resursima podzemnih voda u slivu rijeke Save i srodnim prekograničnim vodonosnicima.

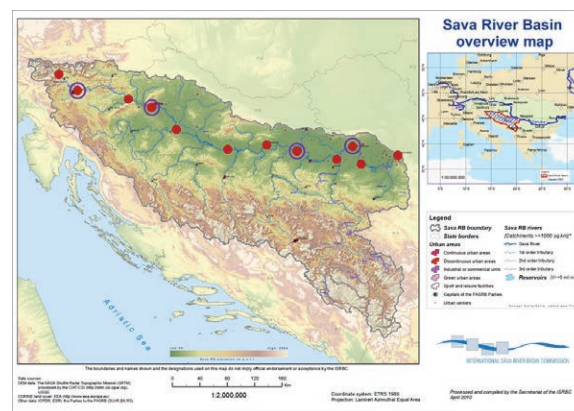
Projekat ima veliki značaj za prognozu brzine toka i prihranjivanja podzemnih voda u aluvionu rijeke Save, uspostavu zaštitnih zona izvorišta, prognozu poplava, navodnjavanje i melioracije, praćenje eventualne kontaminacije vode rijeke Save od strane nuklearnih

elektrana ili nuklearnih havarija u regionu i svijetu, i druge vodoprivredne, stručne i naučne svrhe koje će se moći aplicirati duž cijelog toka rijeke Save.

3. Metodologija istraživanja i ispitivanja

Metodologija istraživanja i ispitivanja obuhvata izbor monitoring punktova, mjerenje vodostaja rijeke Save i nivoa podzemnih voda u pijezometrima, uzorkovanje, laboratorijska ispitivanja izotopskog sastava vode, obradu rezultata istraživanja i njihovo publiciranje i predstavljanje.

Monitoring punktovi za osmatranje i uzorkovanje uspostavljeni su u Sloveniji (Krško Drenova i Čatež), Hrvatskoj (Zagreb, Sisak i Slavonski Brod), Bosni i Hercegovini (Bosanska Gradiška i Orašje) i Srbiji (Šabac).



Slika 1. Tačke uzorkovanja u području istraživanja

Jedan od kriterijuma za definisanje tačaka uzorkovanja je postojanje zvaničnih hidroloških i meteoroloških stanica, koje se u budućnosti mogu uključiti u GNIP i GNIR mreže.

Uzorkovanje podrazumijeva mjesečno uzimanje uzoraka za ispitivanje stabilnih i radioaktivnih izotopa (deuter-2H i kisik-018 i tricij-3H,) u uzorcima vode iz rijeke Save, padavina i pijezometara. Uzorci za analizu radioaktivnog izotopa tricija (3H) se uzimaju

u boce zapremine 1000 ml, a uzorci za analizu stabilnih izotopa (deuter-2H i kisik-018) u boce zapremine 60 ml.



Slika 2. Uzorkovanja na rijeci Savi

Federalni zavod za geologiju uzorkovanje vode iz rijeke Save provodi u Orašju, u neposrednoj blizini hidrološke stanice. Uzorkovanje se vrši što bliže sredini rijeke za što se često koristi čamac. Uzimaju se 4 uzorka od kojih se dva šalju u laboratoriju, a dva ostaju kao kontrolni.



Slika 3. Uzorkovanja padavina iz kišomjera u Orašju

Uzorci za analizu izotopa u padavinama se uzimaju u kišomjeru Palmex koji je za potrebe Projekta instaliran u zoni izvorišta "Kostrč" u Orašju.



Slika 4. Uzorkovanja podzemnih voda u aluvionu rijeke Save u Orašju

Uzorkovanje podzemnih voda u aluvionu rijeke Save vrši se iz piježometra OKP-1 koji se nalazi u izvorištu "Kostrč" u Orašju. Za uzorkovanje se koristi pumpa ugrađena u piježometar. Nakon što se iscrpe 3 zapremine vode iz piježometra, kako bi se dobila svježija podzemna voda, uzorci se uzimaju u boce koje se zatim u priručnim frižiderima transportuju u skladište i dalje u laboratoriju.

Mjerenje nivoa podzemnih voda se provodi preko instaliranog logera u piježometru OKP-1 u Orašju (ovaj piježometar je namjenski izveden za monitoring podzemnih voda koji provodi Agencija za vodno područje rijeke Save).



Slika 5. Preuzimanje podataka NPV-a sa logera iz piježometra OKP-1 u Orašju

Loger je ugrađen u piježometar zajedno sa pumpom kako bi se olakšalo uzorkovanje. Preuzimanje podataka sa logera u okviru redovnog monitoringa vrši firma ALEM Sistem, Ltd. Sarajevo.

Mjerenje vodostaja se provodi u okviru redovnog monitoringa koji provodi Agencija za vodno područje rijeke Save. Monitoring vodostaja za potrebe Agencije također provodi firma ALEM Sistem, Ltd. Sarajevo.

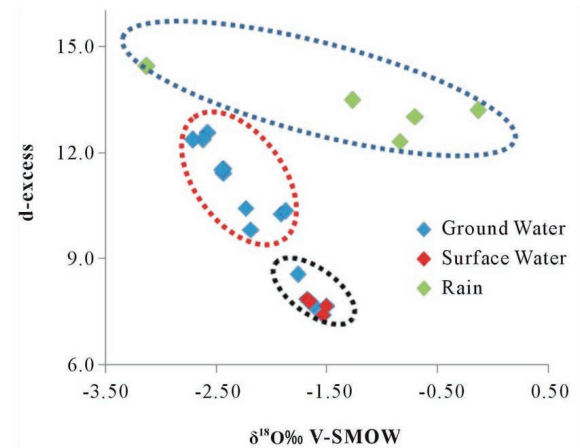
Prikupljanje hidroloških i meteoroloških podataka je također jedan od radnih zadataka Projekta na osnovu kojih će se uraditi statistička analiza. Podatke za pilot područja u Federaciji BiH redovno obezbjeđuje Federalni hidrometeorološki zavod.

Laboratorijska ispitivanja stabilnih i radioaktivnih izotopa

Laboratorijska ispitivanja stabilnih i radioaktivnih izotopa (deuter- 2H i kisik- ^{18}O i tricij- 3H) se vrše na uzetim uzorcima vode. Osnovne karakteristike izotopa koji se ispituju su:

- ▶ **Tricij (3H)** je radioaktivni izotop koji nastaje u gornjim slojevima atmosfere reakcijom dušika i termalnih neutrona. Oksidiranjem u molekule vode preko padavina dospijeva u hidrološki ciklus, a time i podzemne vode. Vrijeme poluraspada tricija iznosi 12,32 godine. U normalnim i neporemećenim uslovima koncentracija tricija u atmosferi iznosi oko 0,6 Bq/L ili 5 TU (1 TU = 0,118 Bq/L). Izvođenjem nuklearnih proba 60-ih godina, prirodna koncentracija tricija u atmosferi je porasla preko 1000 puta. Na taj način je tricij postao obilježivač kojim se može odrediti srednje vrijeme zadržavanja vode u akviferu.
- ▶ **Deuterij (2H)** izotop teškog vodika koristi se za utvrđivanje atmosferskog porijekla vode zajedno sa izotopom kisika ^{18}O
- ▶ **Kisik** se sastoji od tri stabilna izotopa: ^{16}O (99,76%), ^{17}O (0,035%) i ^{18}O (0,2%). U hidrogeologiji se upotrebljava omjer $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$

Odstupanje sadržaja deuterija svodi se na standardnu prosječnu okeansku vrijednost (SMOW).



Slika 6. Primjer odnosa sadržaja izotopa kisika i deuterija u padavinama, površinskim i podzemnim vodama

Ispitivanja stabilnih izotopa deuterija 2H i kisik- ^{18}O vrši se na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u Zagrebu, a radioaktivnog izotopa tricija 3H na Institutu Ruđer Bošković u Zagrebu. Ispitivanja finansira IAEA.



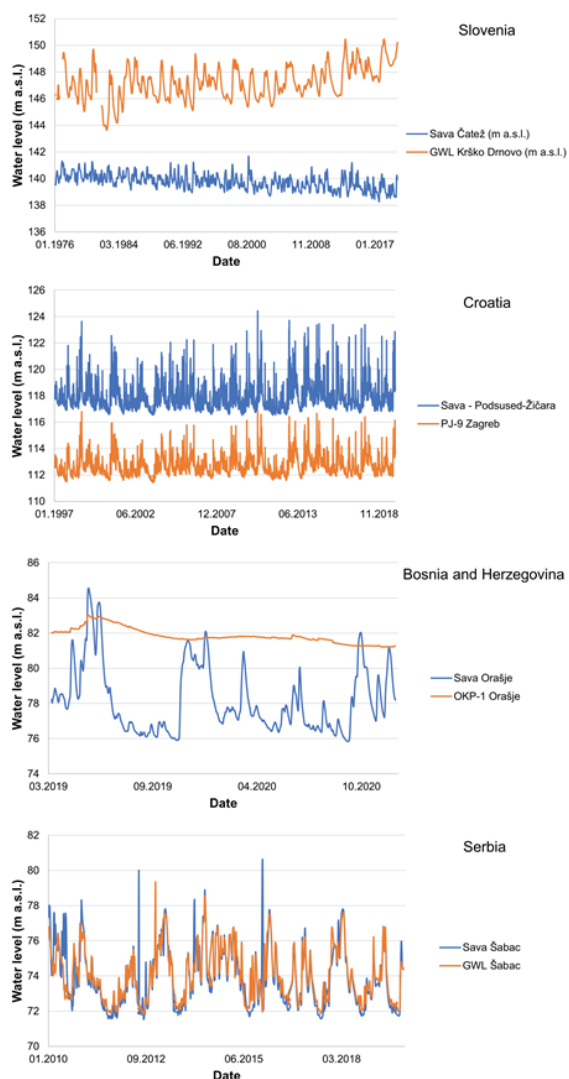
Slika 7. Laboratoriji za izotopska ispitivanja na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu i Institutu Ruđer Bošković

4. Preliminarni rezultati projekta

Preliminarni rezultati ispitivanja dati kroz statističku analizu zasnovani su na podacima vrijednosti padavina, vodostaja rijeke Save i nivoa podzemnih voda sa jedne odabrane lokacije u svakoj državi (Ljubljana i Krško

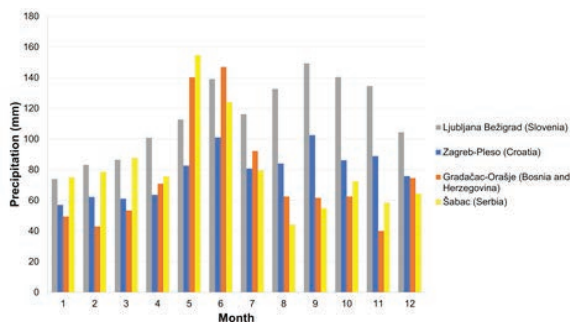
Drnovo u Sloveniji, Zagreb u Hrvatskoj, Orašje u Bosni i Hercegovini i Šabac u Srbiji).

Na slici 8 prikazani su nivoi podzemnih i vodo-
staji Save.



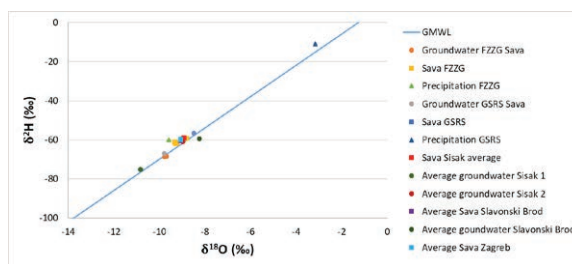
Slika 8. Nivo podzemne vode i nivo površinske vode rijeke Save na jednoj odabranoj lokaciji u svakoj zemlji

Na slici 9 prikazane su vrijednosti padavina. U Sloveniji je u periodu registrovano više padavina nego u drugim zemljama. Takođe, vremenski obrazac nije isti. U Sloveniji i Hrvatskoj više padavina ima u drugom dijelu godine, dok je u Bosni i Hercegovini i Srbiji velika razlika u obrascima padavina iz maja i juna u odnosu na ostale mjesece.



Slika 9. Prosječne mjesečne vrijednosti padavina

Vrijednosti sadržaja stabilnih izotopa u do sada uzetim i ispitanim uzorcima prikazane su na slici 10 na kojoj se vidi interakcija između padavina, rijeke Save i podzemnih voda u aluvionu rijeke Save.



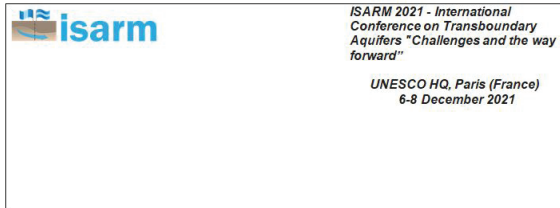
Slika 9. Odnosi sadržaja izotopa kisika i deuterija u padavinama, površinskim i podzemnim vodama na monitoring tačkama projekta RER7013

5. Publikacije i predstavljanje projekta

Jedan od ciljeva projektu RER 7013 "Utjecaj klimatskih promjena na resurse podzemnih voda i interakcija podzemne i površinske vode u slivu rijeke Save" je njegovo predstavljanje i publiciranje. Preliminarni rezultati istraživanja su publicirani na Međunarodnoj konferenciji o međugraničnim akviferima u Parizu (2021.). Na ovoj konferenciji je objavljen rad:

"Groundwater-Surface Water Interaction in the Sava River Basin"

Autori: Zoran Kovač¹, Nina Rman², Ferid Skopljak³, Boban Jolović⁴, Nataša Todorović⁵, Christoph Henrich⁶ and Oliver Kracht⁶



6. Zaključak

Dosadašnja realizacija projekta "Uticaj klimatskih promjena na resurse podzemnih voda i interakcija podzemne i površinske vode u slivu rijeke Save" ukazuje da u slivu rijeke Save postoje različiti obrasci interakcije podzemne vode i površinske vode. Pokazalo se da dinamički odnos između površinskih i podzemnih voda nema istu snagu u svim dijelovima sliva.

Preliminarni rezultati istraživanja o uticaju klimatskih promjena na resurse podzemnih voda i interakcije podzemne i površinske vode u slivu rijeke Save nastaviti će se u okviru IAEA projekta RER7013, koji će pružiti nove podatke i rezultate koji će pomoći ažuriranju i definiranju novih mjera za održivo upravljanje prekograničnim vodonosnicima u slivu rijeke Save.





SESIJA 3 / SESSION 3

P

ostrojenje za prečiščavanje otpadnih voda „Butile“ Sarajevo

/

T

he Waste Water Treatment Plant „Butile“ Sarajevo

MSc Aljoša Dizdarević

KJKP Vodovod i kanalizacija d.o.o. Sarajevo,
Jaroslava Černija 8, Sarajevo, BiH
aljosa.dizdarevic@viksa.ba

Ahmed Busuladžić

KJKP Vodovod i kanalizacija d.o.o. Sarajevo,
Jaroslava Černija 8, Sarajevo, BiH

Sanja Delija

KJKP Vodovod i kanalizacija d.o.o. Sarajevo,
Jaroslava Černija 8, Sarajevo, BiH

Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV) u Sarajevu je nakon prekida rada u aprilu 1992. godine, ponovo pušteno u rad 22. maja 2017. Tome je prethodila rehabilitacija i nadogradnja u okviru projekta „Otpadne vode Sarajeva“, koji je finansiran sredstvima kredita Svjetske banke, IPA grant sredstvima Evropske Unije i sredstvima budžeta Kantona Sarajevo. PPOV Butile je dizajnirano za biološko opterećenje od 600.000 ekvivalentnih stanovnika (ES) i hidraulički kapacitet od 5,20 m³/s. U sklopu prve faze revitalizacije postrojenja vrši se sekundarno prečišćavanje konvencionalnom metodom (uklanjanje organskog ugljika) koje obuhvata biološko prečišćavanje sa sekundarnim taloženjem uz dodatno uklanjanje azota. Predviđeno je i naknadno proširenje i unapređenje postrojenja u drugoj fazi, što podrazumijeva tercijarnu metodu prečišćavanja i uklanjanje fosfora. Postrojenje funkcionalno obuhvata tri cjeline: prečišćavanje otpadne vode, tretman i obradu mulja i iskorištavanje energije iz biogasa. Biogas koji se dobija u tehnološkom postupku prerade mulja koristi se za proizvodnju toplotne i električne energije (kogeneracijsko postrojenje), koja se dalje iskorištava za potrebe postrojenja. Primarni cilj postrojenja je poboljšati sanitarne i okolišne uslove ne samo u Sarajevu, već i u nizvodnim područjima rijeke Bosne, kao i njeno iskorištenje u svrhu navodnjavanja i poljoprivredne djelatnosti, te rekreacije i ribolova.

Ključne riječi

Biogas; energija; mulj; otpadna voda; PPOV Sarajevo

The Waste Water Treatment Plant (WWTP) in Sarajevo was restored on May 22, 2017, after the termination of its work in April 1992. This was preceded by rehabilitation and upgrading within the project "Waste Water of Sarajevo", which was financed by the funds of the World Bank, IPA grant funds from the European Union and budget funds of the Sarajevo Canton. WWTP Butile is designed for a biological load of 600,000 equivalent inhabitants (EI) and a hydraulic capacity of 5,20 m³/s. In the first phase of plant revitalization, secondary purification by conventional method (organic carbon removal) is carried out, which includes biological purification with secondary precipitation and additional nitrogen removal. The subsequent expansion and improvement of the plant in the second phase is foreseen, which implies a tertiary method of purification and removal of phosphorus. The plant functionally comprises of three components: wastewater treatment, treatment of sludge and the exploitation of energy from biogas. The biogas obtained in the technological process of sludge processing is used for the production of heat and electricity (cogeneration plant), which is further exploited for the needs of the plant. The primary goal of the plant is to improve the sanitary and environmental conditions not only in Sarajevo, but also in the downstream areas of the Bosna River, as well as its exploitation for irrigation and agricultural activities, as well as recreation and fishing.

Key words

Biogas; energy; sludge; waste water; WWTP Sarajevo

Uređaj za tretman otpadnih voda grada Sarajeva dimenzioniran je za biološko opterećenje od 600.000 ES (ekvivalentnih stanovnika) u I fazi rekonstrukcije sa mogućnošću naknadnog proširenja i unapređenja u II fazi. Na postrojenje će dolaziti otpadne vode iz Gradskog i Rajlovačkog kolektora i prečišćavati se određenim postupcima prije ispuštanja u prirodni recipijent rijeku Bosnu.

Dok postrojenje nije ponovo pušteno u rad sve su se prikupljene vode, uključujući i kanalizacioni otpad, ispuštale direktno i bez prerade u rijeku Miljacku. Na taj način kvalitet vode rijeke Miljacke, shodno važećoj kategorizaciji vodotoka iz propisane II klase degradiran je u III klasu. Kvalitet rijeke Bosne je također degradiran iz II klase u III klasu nizvodno od PTOV-a. Rekonstrukcijom i izgradnjom PTOV-a Butile obnovljeno sarajevsko postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda uticat će pozitivno na sanitarne i okolišne uvjete ne samo u Sarajevu već i u nizvodnim područjima rijeke Bosne. Cilj je prečistiti otpadnu vodu koja ulazi u postrojenje gradskim kolektorom (influent) kako bi na izlazu (efluent) zadovoljila zakonsku regulativu FBiH prije ulijevanja u recipijent rijeku Bosnu. U tehnološkom procesu prečišćavanja mulj nastaje kao

nusprodukt tretmana otpadne vode.

Mulj se dalje ugušnjava i dehidrira kako bi se smanjio njegov volumen i optimizirali troškovi dispozicije. Gas koji nastaje u digestoru se koristi u kogeneracijskom postrojenju za proizvodnju dijela toplote i električne energije za nesmetan rad postrojenja.

Očekivan dnevni dotok vode je 169.500 m³ / dan. Ulazno hidrauličko opterećenje po suhom vremenu je 2,0 m³/s, a maksimalan dotok na postrojenje po olujnom vremenu je 3,9 - 5,20 m³/s.

Postrojenje se može podijeliti na tri dijela :

1. Prečišćavanje otpadne vode
2. Tretman i obrada mulja i
3. Iskorištenje energije

1. Prečišćavanje otpadne vode

Prečišćavanje otpadne vode ili linija vode se sastoji od 4 faze: predtretman, primarno taloženje, biološko prečišćavanje i sekundarno taloženje. Tretman podrazumijeva prijem sirove, neobrađene kanalizacije i njeno tretiranje koje uključuje uklanjanje krupnih tvari, sitnih tvari, pijeska, šljunka, masti i ulja, biološku degradaciju organskih materija i taloženje kojima se odvaja voda od mulja prije ispuštanja u recipijent rijeku Bosnu.

1.1. Predtretman

Novoizgrađeni dio postrojenja koji se sastoji iz objekata predtretmana (C-27-28-37) ima ulogu da poboljša rad postojenja i zaštiti opremu od abrazije, uklanjanjem krupnih materijala na početku tretmana. Otpadna voda dotiče u postrojenje pomoću cijevi *Gradskog i Rajlovačkog* kolektora koji se spajaju u objektu A 26, ulaznoj komori. U slučaju da nivo vode na ulazu u PTOV bude veći od projektovanog kapaciteta, ili u slučaju nestanka el. energije na ulaznoj pumpnoj stanici, odnosno, ako velike količine toksičnih i eksplozivnih supstanci dospiju u kanalizacioni sistem, otpadna voda će se pomoću bypassa vratiti nazad u rijeku Miljacku. Otpadna voda se prečišćava kroz aerisani grubi pjeskolov (služi za uklanjanje čestica dijametra većih od 2 mm) i stanicu grube provjere, gdje se nalaze grube rešetke promjera 100 mm. Otpadna voda dalje dolazi do pumpne stanice sirove vode gdje se voda diže spiralnim pumpama na 9m (sa nivoa kanalizacije na nivo potreban za naknadno taloženje), kako bi se proces dalje odvijao uz pomoć gravitacije. Zatim slijedi objekat (A-1-2-3) ili fine rešetke gdje se nalaze rešetke sa promjerom od 6mm. Slijedi objekat (A-1-2-3) ili ozračeni pjeskolov - mastolov u kome se uklanja pijesak, ulja i masti. Svrha ove procesne jedinice je uklanjanje čestica pijeska većih od 0,2 mm iz otpadne vode.

GRUBE REŠETKE		
Parametar	Vrijednost	Jedinica
Broj grubih rešetki	2	kom.
Veličina otvora	100	mm
Širina kanala za pojedinačnu rešetku	2,5	m
Hidraulički kapacitet rešetke	5200	l/s

Tabela 1. Grube rešetke



Slika 1. Ulazna pumpna stanica

ULAZNA PUMPNA STANICA		
Parametar	Vrijednost	Jedinica
Broj pužnih pumpi	4	kom.
Hidraulički kapacitet	5200	l/s
Visina pumpanja	8,5	m
Kapacitet po jednoj pumpi	1300	l/s
Promjer pužnih pumpi	2400	mm
Instalirana snaga po jednoj pumpi	185	kW

Tabela 2. Ulazna pumpna stanica

FINE REŠETKE		
Parametar	Vrijednost	Jedinica
Broj finih rešetki	4	kom.
Veličina otvora	6	mm
Širina kanala za pojedinačnu rešetku	1,5	m
Hidraulični kapacitet po rešetki	1300	l/s
Sadržaj skupljen na rešetkama	30	m ³ /sedmično

Tabela 3. Fine rešetke

AERISANI PJESKOLOV		
Parametar	Vrijednost	Jedinica
Broj aerisanih taložnica za pijesak	3	kom.
Dužina	28	m
Širina	2,8	m
Zapremina pojedinačne taložnice za pijesak	223	m ³
Ukupna zapremina	670	m ³
Vrijeme zadržavanja (1) pri 2.6 m ³ /s	4,3	min
Vrijeme zadržavanja (1) pri 3.9 m ³ /s	2,9	min
Vrijeme zadržavanja (1) pri 5.2 m ³ /s	2,1	min
Broj puhaljki za taložnicu (+rezerva)	1+(1)	kom.
Specifični ulaz zraka	1	Nm ³ /m ³ spremnik, h
Ulaz zraka	900	Nm ³
Proizvodnja pijeska	11	m ³ /sedmično

Tabela 4. Aerisani pjeskolov

1.2. Primarno taloženje

U dva primarna taložna bazena (A-4) izdvajaju se lahko taložive suspendovane materije mineralnog i organskog porijekla. Predviđeni efekat taloženja je otprilike 30%.

PRIMARNI TALOŽNICI		
Parametar	Vrijednost	Jedinica
Broj taložnika	2	kom.
Kapacitet po jednom taložniku	1.300	l/s
Prečnik	51,4	m
Prosječna dubina	3,7	m
Ukupna površina	4150	m ²
Ukupna zapremina	15355	m ³
Vrijeme zadržavanja pri PDSV	2,1	h
Vrijeme zadržavanja pri maks. protoku	1,6	h
Hidraul. opterećenje	3,8	m/h

Tabela 5. Primarni taložnici



Slika 2. Aerisani pjeskolov i primarni taložnici

1.3. Biološko prečišćavanje

Dodavanjem kiseonika u bioeracioni bazen (B-5) održava se aktivnom biomasomakro i mikroorganizama koji vrše biološku degradaciju organske materije (organski ugljenik, COD, BOD₅). Na ovaj način se simuliraju uslovi u prirodnim vodotocima i jezerima. Potrebno je obezbjediti optimalan balans biomase mikroorganizama, organskih jedinjenja, kiseonika (što je veća koncentracija biomase veća je potreba za kiseonikom), pH, temperature i dostatnog nivoa nutrijenata.

BIOAERACIJSKI BAZEN		
Parametar	Vrijednost	Jedinica
Broj aeracijskih spremnika	2	kom.
Dužina (ukupna dužina 2 odjeljka)	244	m
Širina	13	m
Dubina	3,7	m
Aerisana zapremina po jednom spremniku	11700	m ³
Ukupna zapremina bioloških spremnika	23400	m ³
Minimalno hidrauličko vrijeme zadržavanja pri suhom vremenu	2,5	h
Ukupna proizvodnja mulja	22500	kgUST/d
Koncentracija mulja	3,0	kg/m ³
Aerobno vrijeme mulja	3,1	dan
Ukupno vrijeme mulja	3,1	dan

Tabela 6. Bioeracijski bazen

1.4. Sekundarno taloženje

Pomoću četiri sekundarna taložna bazena (A-6) vrši se odvajanje aktivnog mulja iz biološki kondicionirane otpadne vode, te njegovo djelimično ugušćavanje i međuretenzija prije recirkulacije u bioeracioni bazen pomoću pumpne stanice aktivnog mulja, (A-8). Prečišćena voda utiče u recipijent rijeku Bosnu, a mulj ide dalje na obradu.

SEKUNDARNI TALOŽNICI		
Parametar	Vrijednost	Jedinica
Broj taložnika	4	kom.
Kapacitet po jednom taložniku (pri suhim vremenskim uslovima)	650	l/s
Prečnik	51,4	m
Prosječna dubina	3,5	m
Ukupna površina	2075	m ²
Hidrauličko opterećenje	1,1	m/h

Tabela 7. Sekundarni taložnici

2. Tretman i obrada mulja

Cijeli proces tretmana mulja sastoji se od zgušnjavanja, digestije, finalnog dehidriranja i konačnog odlaganja mulja. Mulj nastaje kao nusprodukt tretmana otpadne vode. Tehnološkim tretmanima konačnici muljse dehidrira, smanjujemo se masa i zapremina, čime se olakšavanjegova dispozicija uz smanjene troškove odlaganja.

2.1. Zgušnjavanje mulja

Zgušnjavanje mulja podrazumijeva zgušnjavanje u spremniku miješanog mulja (A-10/2), na presama u objektu za zgušnjavanje i dehidrataciju mulja (B-17-18-38), kao i u spremniku zgusnutog mulja (A-10/1). Mulj se miješa,

presuje i skladišti oslobađajući se viška vode. Optimalna suha tvar muljau objektu A-10/1 je 6%.

2.2. Digestija mulja

Mulj se iz spremnika zgusnutog mulja (A-10/1) transportuje do digestora (A-12) gde se vrši alkalna, mezofilna digestija što rezultira dobijanjem digestovanog, crnog i skoro bez-mirisnog mulja. U Kotlovnici (A-13) se nalaze recirkulacione pumpe kojima se svježi mulj iz objekta A-10/1 miješa sa obrađenim muljem iz digestora u svrhu očuvanja konstantne temperatureu digestorima, kao i optimalnih uslova za enzimsku aktivnost mikroorganizama. U digestorima se održava temperatura od 33-37°C.



Slika 3. Digestori mulja

ANAEROBNA DIGESTIJA		
Parametar	Vrijednost	Jedinica
Zapremina dnevno zgusnutog mulja	830	m ³ /d
Spremnik zgusnutog mulja	1500	m ³
Vrijeme zadržavanja	1,8	dan
Broj napojnih pumpi za digestor (+rezerva)	2x(1+1)	kom.
Broj anaerobnih digestora	2	kom.

Aktivna zapremina	2x9000	m ³
Vrijeme zadržavanja	21	dan
Radna temperatura	35-39	°C
Reciklacijske pumpe (+rezerva)	2x(1+1)	kom.

Tabela 8. Anaerobna digestija

2.3. Dehidriranje mulja

Mulj se iz digestora transportuje u spremnik digeriranog mulja (A-16) gde se skladišti i dalje homogenizuje. Zatim se dehidrira na centrifugama u objektu za zgušnjavanje i dehidraciju mulja (B-17-18-38), uz prethodnu pripremu. Prethodno se vrši priprema mulja doziranjem kationskog polielektrolita, hemijskog sredstva koje se najčešće koristi za flokulaciju mulja čime se povećava efikasnost dehidracije. Step en ugušćavanja na filter presama je oko 15-30%.

3. Iskorištenje energije

Degradacijom organskih materija u digestoru stvara se biogas. On se transportuje cijevima u kompresornicu (A-14) gdje se prečišćava filterima i prema potrebi skladišti u rezervoaru gasa (A-15), te se koristi za dobijanje energije pomoću kogeneracijskog postrojenja (C-35-40), a višak sagorijeva pomoću baklje (C-36). Iz energije bioplina proizvodi se 85-87% korisne energije (oko 33% električne energije i 54% toplotne energije). Planirano je da se proizvodi oko 1 MW mjesečno energije što čini oko 1/3 ukupno potrebne energije za normalan rad postrojenja. Korištenjem bioplina skoro svi toplotni zahtjevi, te dio zahtjeva za električnom energijom mogu biti zadovoljeni.



Slika 4. Kogeneracijsko postrojenje

4. Kontrola kvaliteta tehnološkog procesa

PPOV u Butilama posjeduje laboratoriju za kontrolu kvaliteta otpadne vode u procesu tehnološke prerade u cilju ispunjenja zahtjeva zakonske regulative FBiH. Laboratorijska kontrola podrazumijeva fizičko-hemijske analize influenta, efluenta i uzoraka mulja, kao i mikroskopiranje aktivnog mulja iz bio-aeracionih bazena. Laboratorijske analize se odnose na slijedeće parametre: temperaturu (°C), taložne tvari po Imhoffu, pH vrijednost, električnu provodljivost, ORP, BPK, HPK, SS, TS, TSS, ISV, TOC, NH₄-N, PO₄-P/TP, NO₂-N, NO₃-N i TN. Cilj je izlaznu vodu (efluent) pročistiti i uskladiti sa parametrima aktuelne Uredbeo uslovima ispuštanja otpadnih voda u prirodne recipijente i sisteme javne kanalizacije („Sl. novine FBiH“, br. 04-2012).

Projektovane tereti zagađenja za PPOV u Sarajevu:

- ▶ BPK₅ 36.000 kgBPK₅/d
- ▶ HPK 72.000 kgHPK₅/d
- ▶ ukupne suspendirane materije 42.000 kgUST/d
- ▶ ukupni nitrogen po Kjeldahlu 6.600 kgUKN/d
- ▶ ukupni fosfor 1.080 kgP_{ukup}/d

Efluent postrojenja koji se ispuštaju u rijeku Bosnu treba da zadovolji sljedeće kriterijume:

- ▶ BPK₅ 25 mgO₂/L (postotak redukcije 70-90%)
- ▶ HPK 125 mgO₂/L (postotak redukcije 75%)
- ▶ ukupne suspendirane materije 35 mg/L (postotak redukcije 90%)
- ▶ ukupni nitrogen po Kjeldahlu - (1^l ili 70-80 % redukcije)
- ▶ ukupni fosfor - (10^l ili 80% redukcije)



Slika 5. Laboratorija

Morfološke promjene riječnog korita usljed djelovanja bujičnog tečenja na primjeru potoka Lučica

/

Morphological changes of the riverbed due to the action of torrent flow on the example of the Lučica stream

Nedžad Mekić, dipl. ing. građ.

Kanton Sarajevo-Ministarstvo privrede
Reisa Džemaludina Čauševića br.1, 71 000 Sarajevo, BiH
nedzadmekic@gmail.com

Bujice i bujične poplave se zbog prisutnih klimatskih promjena sve češće javljaju u BiH, a njihove štete i posljedice su takve da ugrožavaju objekte, saobraćajnu infrastrukturu, devastiraju okoliš, a sve češće imamo i gubitke ljudskih života. Bujice narušavaju uspostavljeni hidrauličko-psamološki režim toka, jer bujično tečenje karakteriše kritični tangencijalni napon koji vrši erodiranje dna i obala riječnog korita pokreće i transportuje riječni nanos, izazivajući tako morfološke promjene u koritu bujičnog toka. U ovom radu će biti prikazane morfološke promjene i promjene granulometrijskog sastava nanosa u koritu bujičnog potoka Lučica na planini Ivan Sedlo u Općini Hadžići. Također će biti analizirani intenziteti kiša koje su izvale morfološke promjene te značaj i uloga lokalnih konvektivnih kiša na pojavu bujica.

Ključne riječi

Padavine, bujice, morfološke promjene, riječni nanos

Due to the present climate changes, torrents and torrential floods are occurring more and more often in BiH, and their damages and consequences are such that they endanger facilities, traffic infrastructure, devastate the environment, and we are increasingly losing human lives. Torrents disrupt the established hydraulic-psamological flow regime, because torrent flow is characterized by critical tangential stress that erodes the bottom and banks of the river bed, moves and transports river sediments, thus causing morphological changes in the torrent bed. This paper will present morphological changes and changes in the granulometric composition of sediments in the bed of the torrent stream Lučica on the mountain Ivan Sedlo in the Municipality of Hadžići. The intensities of rains caused by morphological changes and the importance and role of local convective rains on the occurrence of torrents will also be analyzed.

Key words

Precipitation, torrents, morphological changes, river sediment

Reljef Bosne i Hercegovine koj je u velikoj mjeri planiniski, razvijena hidrografska mreža, geološko-geomorfološki, hidrometeorološki i antropogeni faktori pogoduju pojavi erozija i bujica, koje izazivaju bujične poplave različite veličine, karaktera i razorne moći. Bujice karakteriše iznenadna i brza pojava, velika razorna moć, pronos nanosa, erodiranje dna i obala korita, kao i nepredvidivost njihove pojave.

Grupa istraživača iz Španije i Italije: *Marcel Hürlimann, Raül Oorthuis, Clàudia Abancó, Luigi Carleoc, José Moya (2019)¹, provodeći svoja istraživanja u slivu rijeke Rebaixader, navode da u savremenoj praksi analize i istraživanja pokretanja nanosa i nastanka bujica postoje tri pristupa međusobno povezana i to:*

a) Prvi i najčešći pristup je mjerenje padavina kojima se definišu pragovi tj. intenziteti kiša koji izazivaju pokretanje nanosa i pojavu bujica;

b) Drugi pristup analizira dinamiku vode u tlu snimanje vlage i/ili pritiska porne vode na padinama sliva;

c) Treći pristup istražuje protok i trajanje bujičnog toka.

Provedenim mjerenjima vlažnost tla na dubinama -15,-30 i -50 cm, pokazali su da postoji direktan odnos između količine padavina i volumetrijskog sadržaja vode u tlu (VWC) što utječe na pokretanje nanosa i pojavu bujičnih tokova.

Uočeno je da je manja količina padavina potrebna za pokretanje nanosa i nastanak bujica kada je početni VWC veći, te istraživači navode da mjerenja koja su provedena na slivu rijeke Rebaixader potvrđuju hipotezu da nanos općenito pokreću ljetne konvektivne kišne oluje kratkog trajanja i jakog intenziteta.

1

Marcel Hürlimann, Raül Oorthuis, Clàudia Abancó, Luigi Carleo, José Moya (2019) "Monitoring of rainfall and soil moisture at the Rebaixader catchment (Central Pyrenees)".

U sadašnje vrijeme se sve češće javljaju intenzivne konvektivne kiše koje su vezane za određeni lokalitet i lokalnog su karaktera. Konvektivne kiše su jakog intenziteta, nepredvidive su, a njihova pojava se vezuje za klimu određenog lokaliteta. Klimatske promjene su globalno pitanje i pored ostalog ogledaju se u neravnomjernosti padavina, promljenjivom intenzitetu, te sve učestalijoj pojavi krkotrajnih intenzivnih kiša, koje se javljaju nakon dugotrajnih suša što uzrokuje na pojavu bujica s ekstremnim promjenama protoka, povećanim erozionim procesima, koji utiču na povećanje čvrste komponente u bujičnoj vodi.

Sve je više istraživača koji proučavaju učinke klimatskih promjena pa tako naučnik *John T. Hardy* (2003)² naglašava da: „Klimatske promjene i globalno zagrijavanje našli su se u vrhu najvažnijih političkih tema. Postoje hitna pitanja koja svi postavljaju: da li ljudske aktivnosti zaista mijenjaju klimu? Da li je globalno zagrijavanje realnost? Kakve nas sve promjene očekuju i koliko će biti obimne? Da li nas čeka još velikih katastrofa i da li će one postati sve češće? Možemo li se prilagoditi klimatskim promjenama i učiniti stvari koje će ih usporiti ili čak spriječiti da do njih ne dođe? Pošto je klimatski sistem Zemlje veoma složen, a ljudsko ponašanje i reakcije na promjene još kompleksnije i nepredvidljivije, odgovor na ova pitanja je ogroman izazov za najpoznatije svjetske naučnike“.

Nepredvidivost pojave i brzina pojave bujica predstavlja veliku opasnost za ljude i njihova materijalna dobra, pa je za efikasnu preventivnu zaštitu veoma bitno pravovremeno upozoravanje stanovništva na pojavu bujičnih poplava radi pravovremenog preduzimanja odgovarajućih preventivnih mjera. Zato je potrebno vršiti kontinuirana istraživanja lokaliteta podložnih pojavi bujica, izraditi mape i definirati područja rizična na pojavu bujica te uraditi prognozne hidrološko-hidrauličke modele ranog upozoravanja na pojavu bujica,

koji trebaju biti integrisani u uspostavljene regionalne prognozne modele.

U ovom radu će biti prikazani rezultati istraživanja padavina na meteorološkoj stanici Ivan Sedlo koje su izazvale bujično tečenje, morfološke promjene dna i obala riječnog korita i promjene granulometrijskog sastava riječnog nanosa. Istraživanja su provedena na bujičnom potoku Lučica na planini Ivan Sedlo u Općini Hadžići. Istraživani sliv potoka Lučica spada u manje slivove čija je površina 3,68182 km², a pokrivenost šumom je 95,46%, te može poslužiti kao osnova za dalja istraživanja bujica u BiH.

1. Opis i karakteristike područja istraživanja

1.1. Karakteristike sliva i bujičnog potoka Lučica

Područje istraživanja je bujični sliv i bujični potok Lučica koji se nalazi na padinama planine Ivan Sedlo u naselju Smucka-Tačin, Općina Hadžići, koji pripada slivu rijeke Bosne. Površina sliva je $F = 368,182 \text{ ha} = 3,68182 \text{ km}^2$ i spada u manje slivove, a prema Dušanu Dukiću (1984)³ pripada "pluvio-nivalnom" režimu, a ovaj režim karakterišu najveći vodostaji u martu, aprilu, maju i novembru, a najniži u avgustu i septembru, pa je očekivati pojavu bujičnih poplavnih voda u proljetnim i jesenjim mjesecima. U slivu je razvijena hidrografska mreža, gdje su prisutni stalni i povremeni bujični potoci s velikim padom, koji za vrijeme intenzivnih kiša povećavaju potencijal otjecanja i nose značajne količine nanosa.

2

John T. Hardy, Climate change, causes, effects and solutions, John Wiley&Sons, Ltd, 2003.

3

Dušan Dukić „Hidrologija kopna“, Naučna knjiga Beograd, 1984.

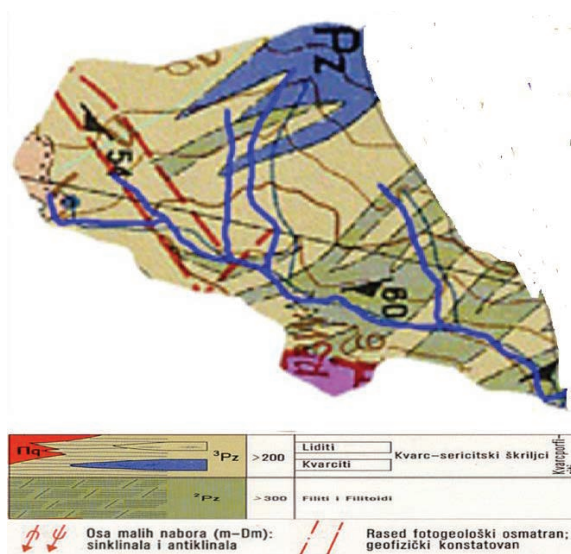
U istraživanom slivu prisutni su antropogeni utjecaji koji se ogledaju u višegodišnjoj eksploataciji šuma u šumskim odelima. Radi se većinom o južnoj ekspoziciji i šumama otvorenog sklopa s plitkim zemljištem, što povećava mogućnost nastajanja erozionih procesa i povećanog otjecanja. Sliv potoka Lučica po svojim prirodnim karakteristikama ima tri zone I to: I zona nastajanja-stavaranje i skupljanje erodiranog materijala-nanosa, II zona transporta erodiranog materijala-tranzit bujične mase, III zona plavine ili zona taloženja bujičnog nanosa.



Slika 1. Sliv potoka Lučica



Slika 2. Hidrografska mreža u slivu Lučica



Slika 4. Geologija u slivu potoka Lučica

1.2. Hidrogeografske i morfometrijske karakteristike sliva i potoka Lučica

Značaj hidrogeografskih i morfometrijskih karakteristika sliva je taj što utječu na koncentraciju površinskih voda, karakter otjecanja voda, dimenzije, oblik i uzdužni profil vodotoka⁴.

⁴

Prof. dr. sc. Nedim Suljić, dipl.ing.građ.Hidrologija- Univerzitet u Tuzli Rudarsko-geološko-građevinski fakultet

Potok Lučica	Površina sliva F (m ²)	Obim sliva-vodo- djelnica (m)	Nadmorska visina (m)			Prosječna nadmorska visina sliva H _{sr} (m.n.m)	Dužina sliva L (km)
			H _{max}	H _{min}	ΔH		
	3681820,254	8741,055	1393	720	673	1056	3,148

Tabela 1. Podaci o slivu Lučica

Ukupna dužina vododjelnice (S) određena je preko GIS-a i iznosi: $S = 8,741055$ km.

Srednja širina sliva (B) predstavlja količnik između površine sliva (F) i dužine sliva (L_s) i iznosi:

$$B_s = F/L_{s1} = 3,6818 \text{ km}^2/3,148 \text{ km} = 1,1695 \text{ km}.$$

Gustina riječne mreže u slivu (D) predstavlja količnik između zbira svih dužina vodotoka (L_i) u slivu i ukupne površine sliva (F) i prema Neumannu glasi:

$$D = (\sum n L_i / F); n - \text{ broj vodotoka u slivu,} \\ L_5 = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 = 3,2407 \text{ km} + 0,972 \text{ km} + \\ 1,3793 \text{ km} + 0,9477 \text{ km} + 0,3977 \text{ km} = 6,9374 \text{ km} \\ D = 6,9374 \text{ km} / 3,6818 \text{ km}^2 = 1,8842 / \text{km}.$$

Morfološki koeficijent sliva, $n = F/L^2 \leq 1$, gdje je

F-površina sliva (km²), L (km) dužina sliva po glavnom toku i iznosi:

$$n = 3,6818 / 3,148^2 = 3,6818 / 9,9099 = 0,3715 \leq 1.$$

Radi se o izduženom slivu kod kojeg je smanjena mogućnost naglog nadolaska bujičnog vala.

Dužina površinskog oticanja (l_0) iznosi:

$$l_0 = 1/2 \cdot D = 0,5 \cdot 1,8842 = 0,9421 \text{ km}$$

Čestina vodotoka u slivu (D_f), predstavlja odnos između broja tokova u slivu (n) u odnosu na površinu sliva (F).

$$D_f = n/F; n = 5, F = 3,6818 \text{ km}^2 \\ D_f = 5 / 3,6818 = 1,3580 / \text{km}^2.$$

Srednja dužina padina (l_p) određuje se preko

gustine riječne mreže (D) preko formule:

$$l_p = 1 / (1,8 \cdot D) = 1 / (1,8 \cdot 1,8842) = 1 / 3,39156 \\ l_p = 0,2948 \text{ km}.$$

Prosječna nadmorska visina sliva (H_s),

$H_s = (h_1 + h_2 + \dots + h_n) / n$, h_n -nadmorske visine karakterističnih tačaka na glavnom toku i pritokama, n-broj karakterističnih tačaka.

$$H_s = (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5) / n = (720 + 858 + 1100 + 1210 + \\ 1393) / 5 = 5281 / 5$$

$$H_s = 1056 \text{ m.n.m}$$

Ukupan pad toka (H_r) predstavlja razliku nadmorske visine izvora glavnog vodotoka ($H_{r,max}$) i izlaznog profila (ušća) ($H_{r,min}$).

$$H_r = H_{r,max} - H_{r,min} \\ H_{r,max} = 1125 \text{ m.n.m}; H_{r,min} = 720 \text{ m.n.m} \\ H_r = H_{r,max} - H_{r,min} = 1125 - 720 = 405 \text{ m}.$$

Prosječni pad toka (I_{sr}) je količnik ukupnog pada (H_r) i ukupne dužine toka (L) i izražava se m/km.

$$I_{sr} = H_r / L_t$$

$$I_{sr} = 405 \text{ m} / 3,2407 \text{ km} = 0,405 / 3,2407 \\ I_{sr} = 0,12497 \cdot 100\% = 12,4972 \%$$

Koeficijent meandriranja toka (K_l) je količnik dužine toka (L_t) i dužine sliva (L_s).

$$K_l = L_t / L_s \\ L_t - \text{ dužina glavnog toka; } L_s - \text{ dužina sliva} \\ L_t = 3,2407 \text{ km}; L_s = 3,148 \text{ km} \\ K_l = L_t / L_s = 3,2407 \text{ km} / 3,148 \text{ km} = 1,0294 \text{ m/km}.$$

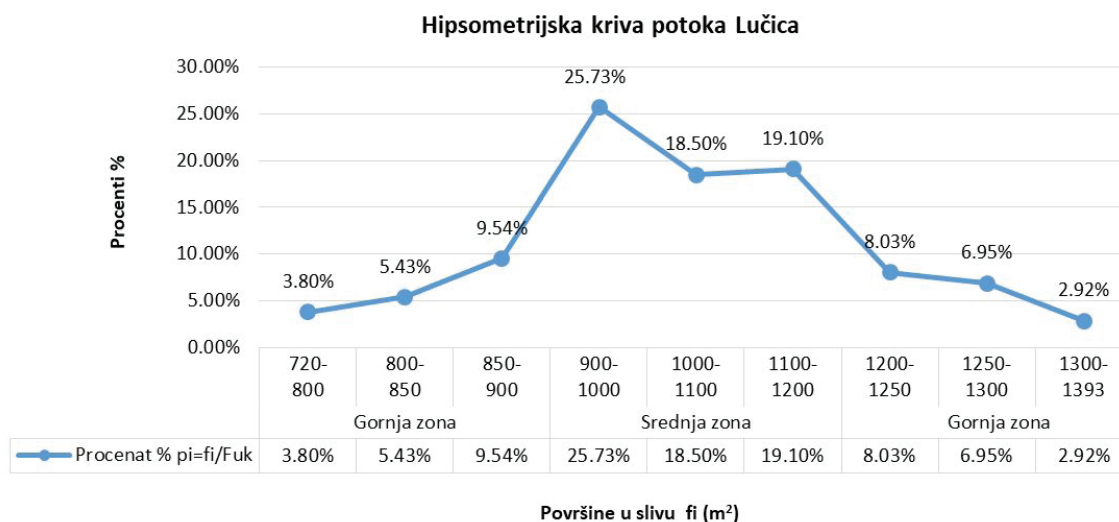
Hipsometrijska kriva sliva

Hipsometrijska kriva sliva predstavlja procentualnu zastupljenost pojedinih nadmorskih visina sliva u funkciji površine sliva, odnosno hipsometrijska kriva pokazuje raspodjelu reljefa sliva po visinskim zonama. U morfo-

metrijskom pogledu i na osnovu vertikalne raščlanjenosti reljefa kao i prema hipsometrijskim karakteristikama sliva potoka Lučica dominantno je brdsko-planinsko područje, a procentualni odnosi po zonama dati su u tabeli 2.

Zona sliva bujice	Nadmorske visine zona od-do (m.n.m)	Površina dijela sliva f_i (km ²)	Procentat %	Nadmorska visina (m.n.m)	Procentat po zoni %
Sliv potoka Lučica, F=3681820,254 m²			$p=f_i / F_{uk}$	1000 <	
<i>Donja zona-zona akumuliranja nanosa</i>	720-800	140055,696	3,80 %	1000 < 44,5%	18,77 %
	800-850	199930,511	5,43 %		
	850-900	351280,026	9,54 %		
<i>Srednja zona-zona tamspporta nanosa</i>	900-1000	947261,631	25,73 %	>1000 55,5%	63,33 %
	1000-1100	680920,744	18,50 %		
	1100-1200	703089,125	19,10 %		
<i>Gornja zona-zona nastajanja nanosa</i>	1200-1250	295498,169	8,03 %		17,90 %
	1250-1300	255963,494	6,95 %		
	1300-1393	107659,954	2,92 %		

Tabela 2. Procentualna zastupljenost pojedinih nadmorskih visina u slivu-Hipsometrijska kriva



Slika 4. Hipsometrijska kriva potoka Lučica

Koeficijent razvoja vododjelnice (m) je karakteristika koja određuje režim otjecanja, a njegova najmanja veličina je 1 (jedan) i tada je vododjelnica približno jednaka krugu, a dužina površinskog oticanja je tada minimalna. Povećana vrijednost ovog koeficijenta ukazuje na ravnomjernije oticanje vode u slivu. Dobije se kao količnik ukupne dužine vododjelnice S i obima kruga čija je površina jednaka površini sliva S'.

$$m=S/ S' =S/2rp= S/ 3,54 \sqrt{F} \geq 1 ;$$

$$Površina Sliva F_1= 3,6818 \text{ km}^2;$$

$$Ukupna dužina vododjelnice S= 8,7410 \text{ km}$$

$$F=r^2p$$

$$3,6818 \text{ km}^2= r^2 \cdot 3,14$$

$$r=1,082 \text{ km}$$

$$O=2rp=2 \cdot 1,082 \cdot 3,14$$

$$O= S'= 6,79496 \text{ km}$$

$$m=S/ S'= 8,7410 \text{ km} / 6,79496 \text{ km} = 1,28639.$$

2. Analiza padavina

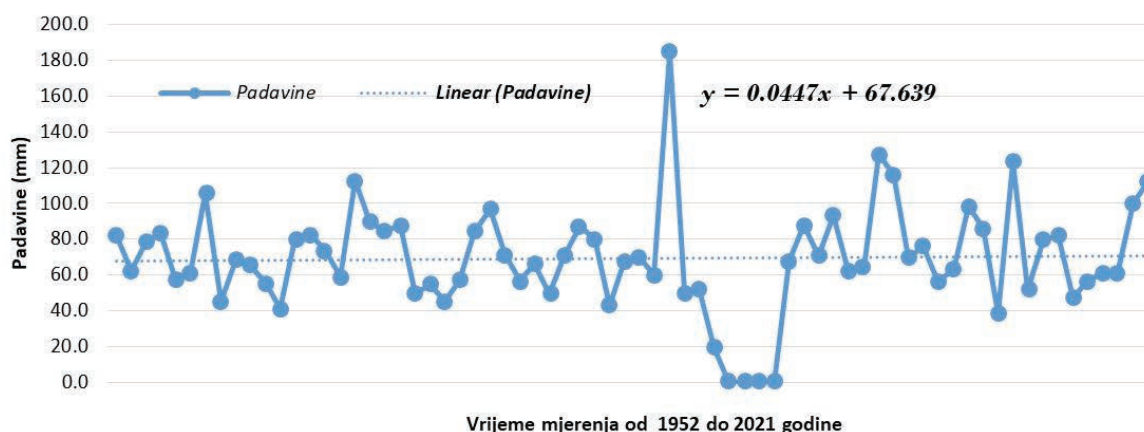
Efektivna kiša (P_e) predstavlja dio od ukupnih padavina (P) koji otječe u slivu. Razlika $P - P_e$ predstavlja onaj dio padavina koji infiltrira u podzemlje. Količina vode koja infiltrira u podzemlje za vrijeme trajanja kiša umanjuje pojavu bujice. Za određivanje efektivne kiše (P_e) najčešće se koristi metoda SCS (*Soil Conservation Service Hydrologic Method*), koja uzima u obzir prethodnu vlažnost zemljišta,

tipove i način korištenja zemljišta, te sklop vegetacionog pokrivača. Za neki bujični sliv značajno je odrediti koji intenzitet kiše uzrokuje pojavu bujica. To se može odrediti isključivo mjerenjima padavina, vodostaja i proticaja. Za izradu ovog rada korišteni su podaci sa meteorološke stanice Ivan Sedlo, koja se nalazi neposredno uz sliv potok Lučica. Preuzeti su podaci o padavinama za period od 1952. do 2021. godine, a to je niz od 69 godina.

Godina	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960
Max mjes	81,8	62,2	78,5	83,0	57,1	61,3	105,8	45,1	68,5
Sred. god	33,52	29,45	33,83	34,70	28,00	35,40	42,37	30,45	31,72
Godina	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
Max mjes	65,0	55,8	41,3	80,4	82,5	73,4	59,0	112,6	89,9
Sred. god	30,26	29,85	29,45	35,27	37,24	32,43	31,57	42,65	37,48
Godina	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
Max mjes	85,0	87,5	49,7	55,0	45,2	57,1	84,4	96,6	71,1
Sred. god	41,76	35,53	26,59	26,42	30,55	34,75	37,97	40,46	40,40
Godina	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Max mjes	57,0	66,2	49,4	71,0	87,1	80,2	43,0	68,0	70,0
Sred. god	36,22	33,56	29,93	29,81	27,42	36,53	25,10	36,45	38,25
Godina	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Max mjes	60,0	185,0	50,0	52,0	19,1	0	0	0	0
Sred. god	31,17	38,65	27,73	35,28	23,40	0	0	0	0
Godina	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Max mjes	67,5	88,1	70,6	93,1	62,5	64,2	127,4	116,3	69,6
Sred. god	12,89	32,98	33,94	31,28	34,06	30,74	37,06	43,98	32,25
Godina	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Max mjes	76,3	56,4	63,1	98,2	85,9	38,3	123,5	52,1	79,7
Sred. god	34,12	33,98	38,50	36,62	47,81	22,29	38,53	22,73	37,11
Godina	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021		
Max mjes	82,2	47,3	57,0	60,6	60,7	100,4	112,0		
Sred. god	36,38	30,75	34,02	35,05	32,51	36,30	38,92		

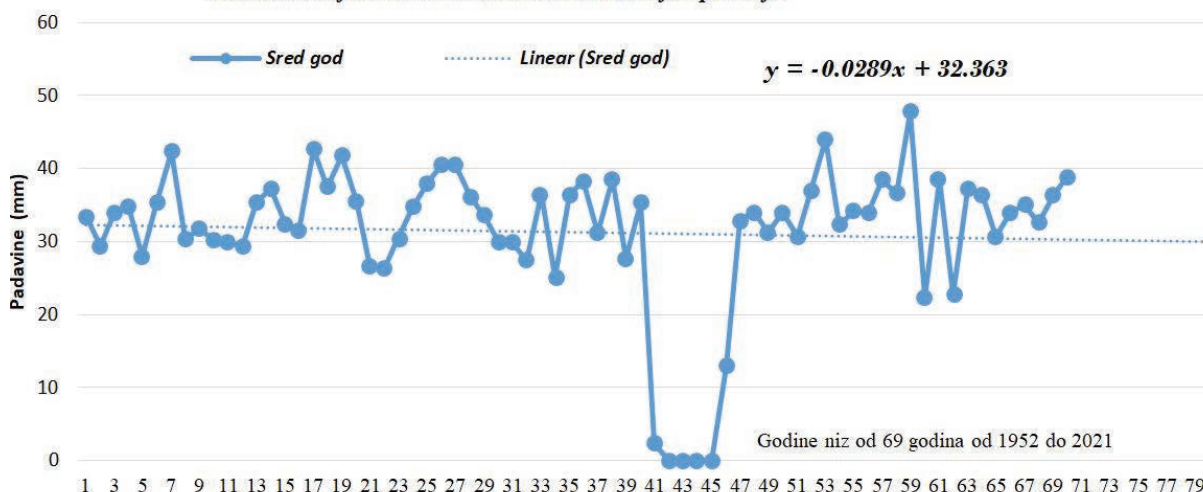
Tabela 3. Historijske padavine izmjerene na meteorološkoj stanici Ivan Sedlo, maksimalne mjesečne i srednje godišnje padavine za period od 1952- 2021.godine.

Dijagram maksimalnih mjesečnih padavina u nizu od 69 godina od 1952-2021. godine na meteorološkoj stanici Ivan Sedlo i ima tendenciju rasta



Slika 5. Dijagram maksimalnih vrijednosti mjesečnih padavina u nizu od 69 godina od 1952-2021. godine

Dijagram srednjih godišnjih padavina za period od 1952-2021. godine na meteorološkoj stanici Ivan Sedlo ima tendenciju opadnija



Slika 6. Dijagram srednjih vrijednosti mjesečnih padavina u nizu od 69 godina od 1952-2021. godine

2.1. Utjecaj konvektivnih kiša na pojavu bujica

Utjecaj lokalnih intenzivnih konvektivnih i orografskih kiša koje su vezane za određeni lokalitet je veoma značajan za pojavu bujica.

Istražujući karakteristike sliva potoka Lučica prikupljeni su podaci o padavinama sa tri meteorološke stanice, koje se nalaze u okruženju sliva i pokazalo se da lokalni usvjeti utječu na intenzitet kiša. Vrijednosti mjerenja prikazane su u tabeli 4.

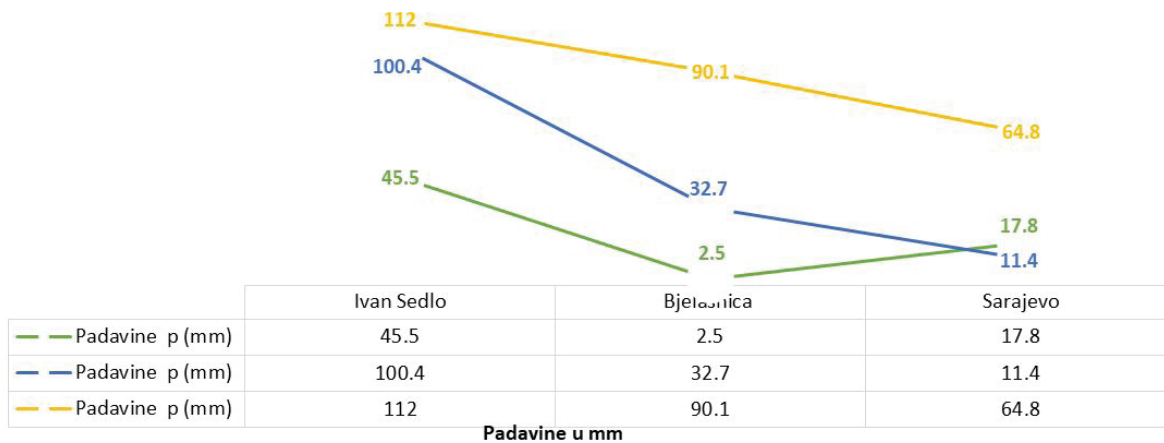
Meteorološka stanica	Vrijeme mjerenja	Ivan Sedlo	Bjelašnica	Sarajevo
Padavine p(mm)	07.03.2020	45,5	2,5	17,8
Padavine p(mm)	26.09.2020	100,4	32,7	11,4
Padavine p(mm)	05.11.2021	112	90,10	64,8

Tabela 4. Intenziteti padavina za tri perioda na tri meteorološke stanice.

Meteorološka stanica	Vrijeme mjerenja	Padavine-p (mm)
Ivan Sedlo	07.03.2020	45,50
PCE-FVS 20		20,10

Tabela 5. Padavine na početku i kraju sliva Lučica za dan 07.03.2020. godine

Dijagrami padavina sa tri meteorološke stanice za vrijeme mjerenja 07.3.2020, 26.9.2020 i 05.11.2021. godine



Slika 7. Dijagram intenziteta padavina za tri perioda na tri meteorološke stanice.

Bujice i bujične poplave svoje specifičnosti i karakteristike vežu za posmatrani lokalitet u kojem se javljaju pa je za njihovu analizu i prognozu neophodno poznavanje lokalnih faktora. Čak i u istom slivu postoji razlika u intenzitetu padavina, a rezultati mjerenja padavina u slivu dati su u tabeli 5 iz koje se vidi razlika u intenzitetu padavina. Podaci o intenzitetu padavina na početku sliva uzeti su sa meteorološke stanice Ivan Sedlo, a na kraju sliva podaci su uzeti s mini automatske stanice PCE-FVS 20 postavljenoj neposredno ispod sliva čiji je međusobni razmak $L=5,3$ km. Iz datih tabela 4 i 5 i dijagrama slika 7, evidentirana je razlika u intenzitetu padavina izmjerenih istovremeno na meteorološkim stanicama, gdje je razlika čak i nekoliko puta i to na relativno malom razmaku. Meteorološka stanica na Bjelašnici udaljena je od Ivan Sedla 19 km, stanica Sarajevo udaljena je 32 km, a mini automatska stanica koja se nalazi neposredno uz donji dio sliva udaljena je 5,3 km od stanice Ivan Sedlo. U vrijeme katastrofalnih poplava koje su zadesile Kanton Sarajevo dana 5.11.2021.godine, izmjeren je intenzitet

padavina na meteorološkoj stanici Ivan Sedlo od $p=112$ mm, na Bjelašnici $p=90,4$ mm, razlika je $\Delta p=21,6$ mm u Sarajevu $p=64,80$ mm, a razlika je $\Delta p=47,2$ mm. Mjerenjima je utvrđena velika razlika u intenzitetu padavina u istom vremenu na relativno maloj udaljenosti. Iz dijagrama na slici 7. se vidi da je smanjenje intenziteta kontinuirano. Međutim padavine koje su se desile 7.3.2020. godine na meteorološkoj stanici Ivan Sedlo izmjereno je $p=45,5$ mm na Bjelašnici $p=2,5$ mm, što je za 18,2 puta manje, dok je u Sarajevu izmjereno $p=17,8$ mm, što je za 2,5 puta manje. Ovdje je iz dijagrama prikazanog na slici 7. vidljiva lokalna promjenljivost intenziteta padavina, što je karakteristično za konvektivne kiše.

3. Određivanje granulometrijskog sastava riječnog nanosa u potoku Lučica

U zavisnosti o intenzitetu erozionih procesa u slivu i samom riječnom koritu zavisi koncentracija čvrste komponente u bujičnoj vodi. U cilju dokazivanja da se pojavom bujice uz

morfološke promjene u riječnom koritu vrše i promjene granulometrijskog sastava nanosa uzeta su četiri uzorka riječnog nanosa s istog mjernog profila iz donjeg dijela bujičnog potoka Lučica sa dubine do 50 cm gdje se vrši akumuliranje-taloženje nanosa.

Uzorci nanosa prikazani na slikama 8, 9 i 10 su transportovani do ovlaštene laboratorije⁵ na analizu i određivanje granulometrijskih krivih za sva četiri uzeta uzorka riječnog nanosa. U tabeli 6. dati su podaci o vremenu uzimanja uzoraka, a uzorkovanje je izvršeno prema metodologiji koja odgovara standardu BAS EN ISO 17892-4:2018.

Rezultati su prikazani grafički u obliku granulometrijskih krivih koje predstavljaju zbirnu liniju težina pojedinih frakcija i koje su prikazane grafički sa horizontalnom logaritamskom skalom (veličina zrna) i vertikalnom linearnom skalom (procenti zrna propalih kroz sito sa određenom veličinom rupa). Udio zrna

iznad 0,063 mm određen je prosijavanjem preko garniture sita promjera 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm i 32 mm. Veličina zrna ispod 0,063 mm je ustanovljena indirektno na osnovu promjenljive brzine njihove sedimentacije u suspenziji i to metodom aerometrisanja.

Za potrebe dalje analize i donošenja zaključaka utjecaja bujičnog toka na promjenu granulometrijskog sastava nanosa u riječnom koritu napravljena je usporedba granulometrijskih krivih iz četiri analize kojima je dokazano da se usljed bujičnog tečenja pored promjene morfologije riječnog korita istovremeno mijenja i granulometrijski sastav riječnog nanosa. Granulometrijske krive urađene su za sve uzete uzorke, a njihova usporedba napravljena prikazana je na dijagramu slika 11.

5

Laboratorija „GEO Lab“ ul. Mustafe Bajića 19, Sarajevo, BiH.

Vrijeme uzimanja uzoraka	I-uzorkovanje 10.11.2019	II-uzorkovanje 07.03.2020	III-uzorkovanje 26.09.2020	IV- uzorkovanje 05.11.2021
Padavine p(mm)	60,7	45,5	100,4	112

Tabela 6. Vrijeme uzimanja uzoraka za granulometrijsku analizu i padavine na meteorološkoj stanici Ivan Sedlo.



Slika 8,9,10. Uzorci za laboratorijsko određivanje granulometrijskog sastava riječnog nanosa

Uzorkovanja-Metodologija po osnovu BAS EN ISO 17892-4:2018								
Uzorak	Vrijeme uzorkovanja	Dubina (m)	ρ_s (mg/m ³)	Glina	Prah	Pijesak	Šljunak	Zrna (%) < 0,063 mm
L-1	p=60,7 mm 10.11.2019	0,5	2,65	0 %	1%	20 %	79%	1%
L-2	p=45,5 mm 07.03.2020	0,5	2,65	0 %	0%	20 %	80%	0%
L-3	p=100,4 mm 26.09.2020	0,5	2,65	0 %	9%	21 %	70%	9%
L-4	p=112 mm 05.11.2021	0,5	2,65	0 %	11%	23 %	66%	11%

Tabela 7. Rezultati laboratorijske analize riječnog nanosa za 4 mjerenja

Uzorak	Vrijeme uzorkovanja	Dubina (m) uzimanja uzorka	Koeficijent uniformnosti $C_u = D_{60} / D_{10}$	Koeficijent zakrivljenosti $C_c = D_{30}^2 / D_{60} \cdot D_{10}$	k (m/s) Određen metodom Mallet - Pacquant
L-1	p=35,9 mm 10.11.2019	0,5 m	21,4	1,1	1,7 E-2
L-2	p=45,5 mm 07.03.2020	0,5 m	25,0	1,0	1,9 E-2
L-3	p=100,4 mm 26.09.2020	0,5 m	44,2	2,1	3,1 E-3
L-4	p=112 mm 05.11.2021	0,5 m	29,6	0,7	1,7 E-3

Tabela 8. Koeficijent uniformnosti (C_u) i koeficijent zakrivljenosti (C_c)

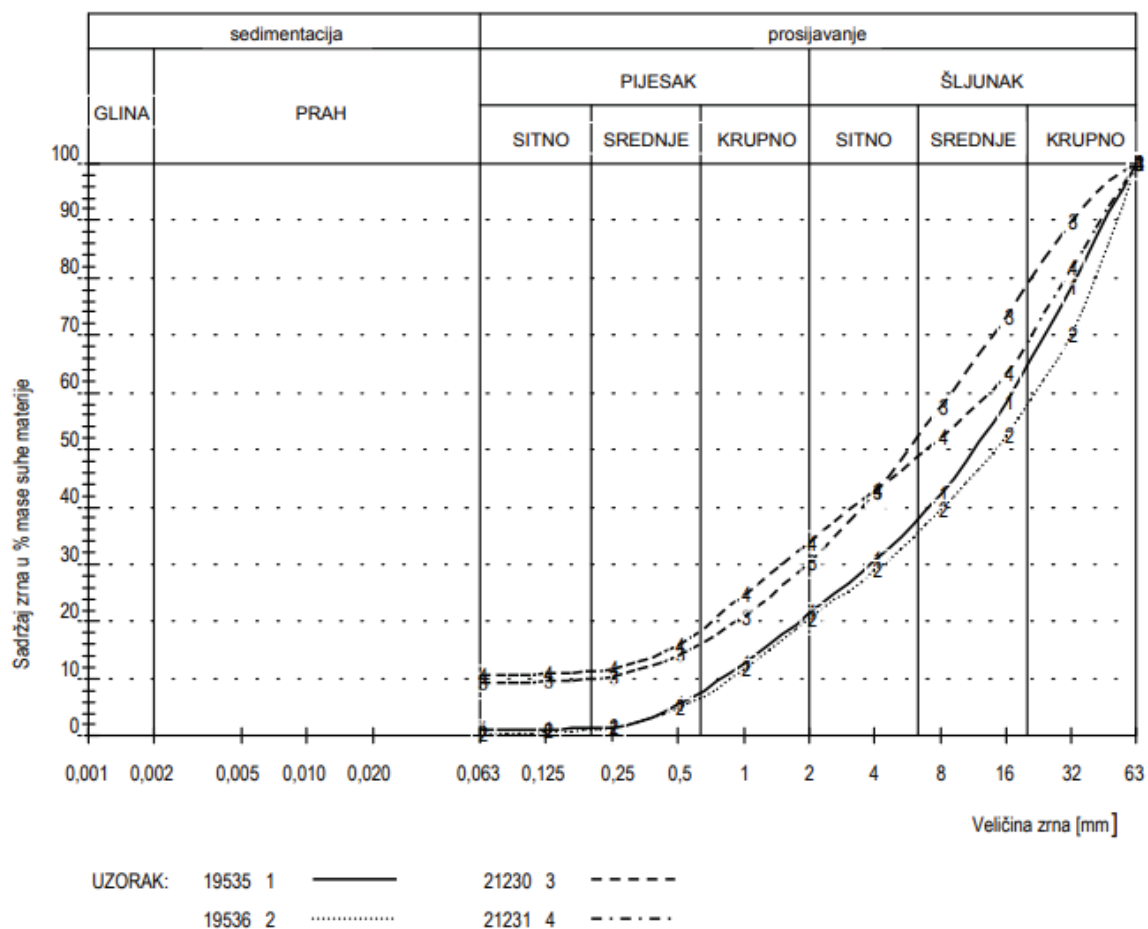
Upoređivanje granulometrijskih krivih za I, II, III i IV uzorkovanje

Nakon pojave bujice tj. nakon padavina datih u tabeli 6. vršeno je uzimanje uzoraka riječnog nanosa sa istog mjernog mjesta na ušću potoka Lučica. Laboratorijskom analizom

pojedinačno su određene granulometrijske krive za svaki uzeti uzorak, a zatim je izvršena njihova usporedba. Iz prikazanih granulometrijskih krivih vidljivo je da je svakom pojavom bujice došlo do promjene granulometrijskog sastava riječnog nanosa, što je prikazano na slici 11.

UZORAK	SONDA	DUBINA [m]	ρ_s [Mgm ⁻³]	Glina	Prah	Pijesak	Šljunak	Zrna < 0,063mm [%]
19535	L -1		2.65	0	1	20	79	1
19536	L -2		2.65	0	0	20	80	0
21230	L -3		2.65	0	9	21	70	9
21231	L -4		2.65	0	11	23	66	11

UZORAK	d10	d20	d30	d40	d50	d60	d70	d80	d90	d100 - [mm]
19535	8,0E-1	1,8E+0	3,8E+0	7,1E+0	1,1E+1	1,7E+1	2,4E+1	3,3E+1	4,6E+1	6,3E+1
19536	8,8E-1	1,9E+0	4,4E+0	8,3E+0	1,4E+1	2,2E+1	3,1E+1	4,1E+1	5,2E+1	6,3E+1
21230	2,0E-1	9,3E-1	2,0E+0	3,5E+0	5,7E+0	8,9E+0	1,4E+1	2,1E+1	3,2E+1	6,3E+1
21231		7,2E-1	1,5E+0	3,2E+0	7,0E+0	1,3E+1	2,1E+1	3,0E+1	4,3E+1	6,3E+1



Slika 11. Uspredba granulometrijskih krivih-svi uzorci-potok Lučica

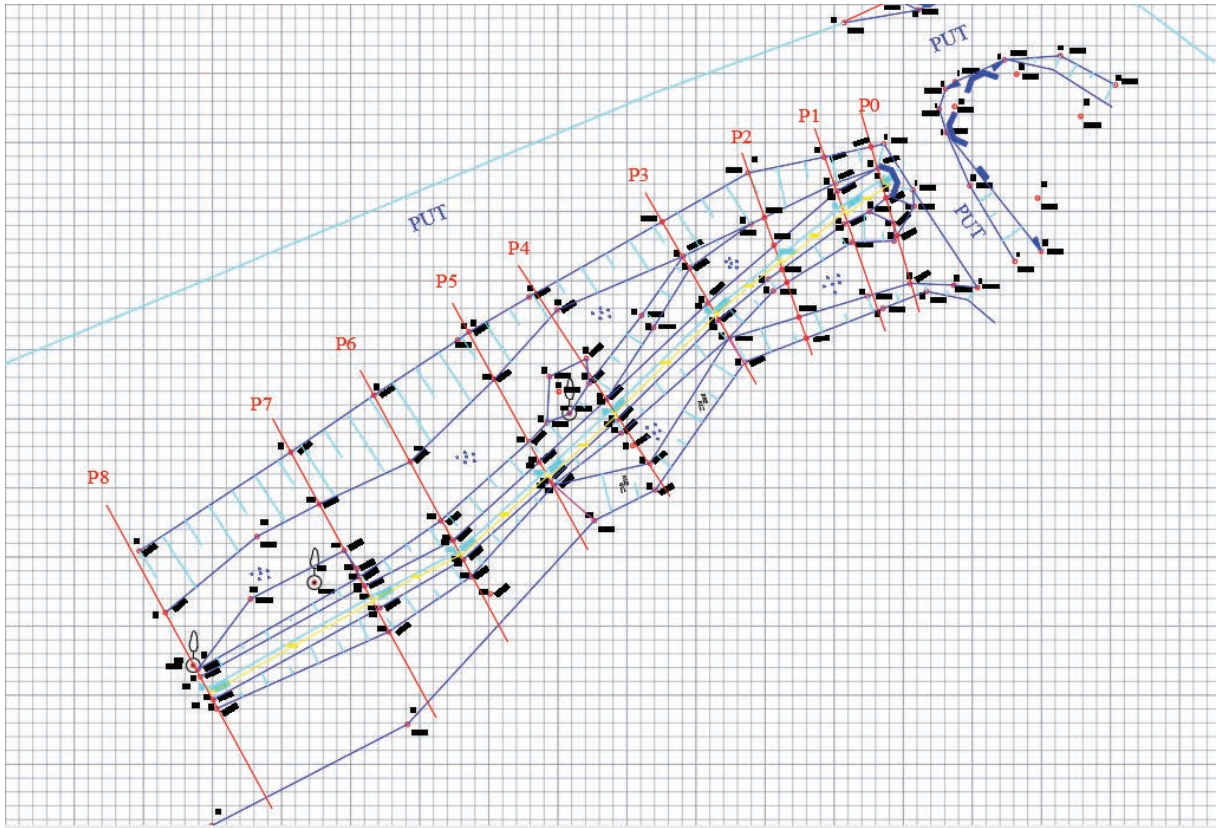
4. određivanje morfoloških promjena na potoku Lučica

Morfološke promjene su rezultat bujičnog tečenja kojeg u svom istraživanju N.Mekić i E.Hadžić opisiju kao turbulentno sa stalnim promjenama režima tečenja, promjenom geometrije, a hrapavost korita je prostorno i vremenski promjenjiva, hidraulika je specifična iz razloga njene dvofaznosti (voda+nanos), a granice površine nivoa vode i dna korita su promjenjive⁶. U narednom izlaganju biće prikazani rezultati morfoloških promjena riječnog korita potoka Lučica koje su izazvale bujice nastale nakon intezivnih kiša koje je registrovala meteorološka stanica Ivan Sedlo. U toku istraživanja koja su provedena 2019, 2020 i 2021.godine na potoku Lučica značajnije morfološke promjene izazvale su kiše intenziteta $p_I=60,7$ mm, $p_{II}=45,5$ mm,

$p_{III}=100,4$ mm i $p_{IV}=112$ mm. Promjene morfologije korita utvrđene su terenskim geodetskim mjerenjima preko totalne stanice, za navedene padavine. Mjerenje su vršena na odabranim mjernim profilima prikazanim na slici 12. Prethodno je izvršeno mjerenje početnog stanja-nulto stanje obala i dna korita potoka Lučica i nakon registrovanih intezivnih padavina i pojave bujičnog tečenja izvršena su još tri geodetska mjerenja morfoloških promjena dna i obala korita nastala erodiranjem ili taloženjem nanosa. Na slici 13 prikazan je lokalitet mjerenja na potoku Lučica za vrijeme sušnog perioda, dok je na slici 14 prikazana pojava bujice.

6

Nedžad Mekić, Emina Hadžić, "Bujice, osobine, posljedice i preventivne mjere s osvrtom na Kanton Sarajevo-II Kongres o vodama 2019, Sarajevo BiH.



Slika 12. Lokalitet mjerenja morfoloških promjena na potoku Lučica-mjerni profile P0-P8



Slika 13. Suho vrijeme potok Lučica

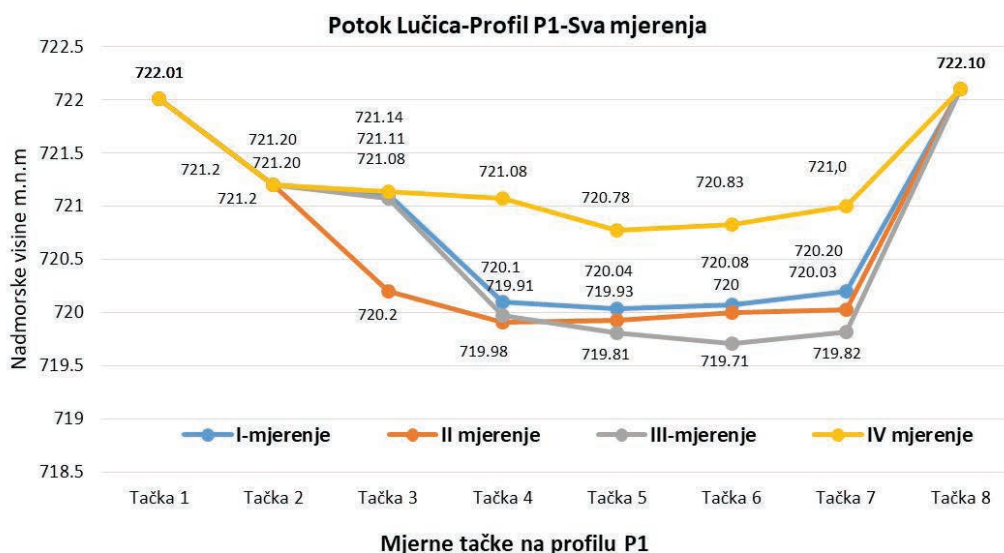
Morfološke promjene na potoku Lučica biće prikazane na tri karakteristična poprečna mjerna profila i to: profil P1 na početku, profil P4 na sredini i profil P8 na kraju mjerne dionice, kao i sa dva uzdužna profila i to u mjernim tačkama 4 i 5 koje pripadaju sredinimatici toka. U tabeli 9,10, 11, 12 i 13 prikazani su rezultati provedenih geodetskih mjerenja kojim se prikazuju morfološke promjene u na dijelu toka potoka Lučica.



Slika 14. Pojava bujičnog toka na potoku Lučica

Profil P1	I-mjerenje Nulto mjerenje 10.11.2019 p=60,7 mm	II mjerenje 07.03.2020 p=45,5 mm	III-mjerenje 26.09.2020 p=100,4 mm	IV mjerenje 05.11. 2021 p=112 mm
Tačka 1	722,01	722,01	722,01	722,01
Tačka 2	721,20	721,20	721,20	721,20
Tačka 3	721,11	720,20	721,08	721,14
Tačka 4	720,10	719,91	719,98	721,08
Tačka 5	720,04	719,93	719,81	720,98
Tačka 6	720,08	720,00	719,71	720,83
Tačka 7	720,20	720,03	719,82	721,00
Tačka 8	722,10	722,10	722,10	722,10

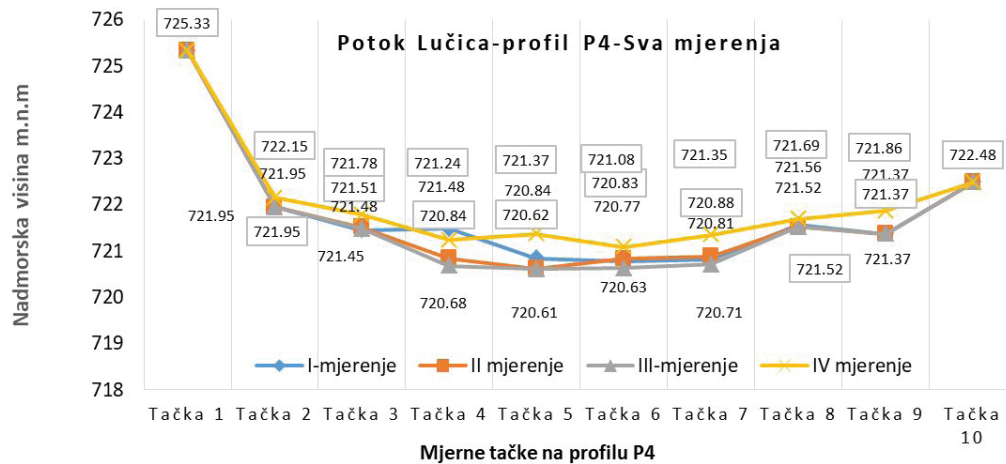
Tabela 9. Geodetska mjerenja morfoloških promjena na profilu P1



Slika 15. Profil P1-morfološke promjene

Profil P4	I-mjerenje Nulto mjerenje 10.11.2019 p=60,7 mm	II mjerenje 07.03.2020 P=45,5 mm	III-mjerenje 26.09.2020 p=100,4 mm	IV mjerenje 05.11. 2021 p=112 mm
Tačka 1	725,33	725,33	725,33	725,33
Tačka 2	721,95	721,95	721,95	722,15
Tačka 3	721,45	721,51	721,48	721,78
Tačka 4	721,48	720,84	720,68	721,24
Tačka 5	720,84	720,62	720,61	720,97
Tačka 6	720,77	720,83	720,63	721,08
Tačka 7	720,81	720,88	720,71	721,35
Tačka 8	721,56	721,52	721,52	721,69
Tačka 9	721,37	721,37	721,37	721,86
Tačka 10	722,48	722,48	722,48	722,48

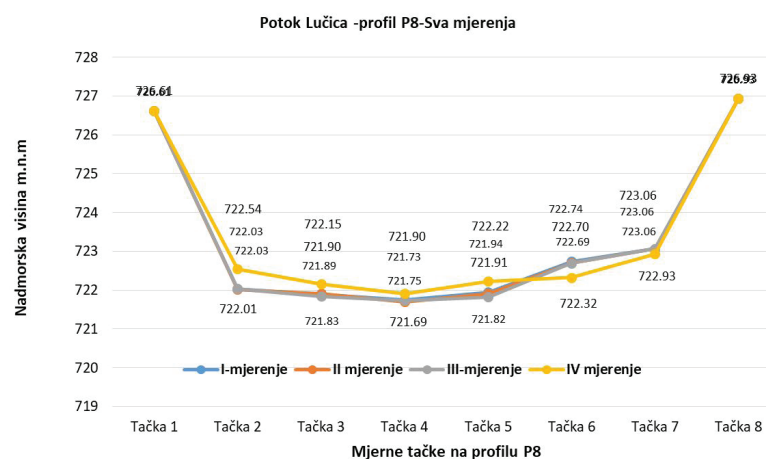
Tabela 10. Geodetska mjerenja morfoloških promjena na profilu P4



Slika 16. Profil P4-morfološke promjene

Profil P8	I-mjerenje 10.11.2019 p=60,7 mm	II mjerenje 07.03.2020 p=45,5 mm	III-mjerenje 26.09.2020 p=100,4 mm	IV mjerenje 05.11. 2021 p=112 mm
Tačka 1	726,61	726,61	726,61	726,61
Tačka 2	722,03	722,01	722,03	722,54
Tačka 3	721,89	721,90	721,83	722,15
Tačka 4	721,75	721,69	721,73	721,90
Tačka 5	721,94	721,91	721,82	722,22
Tačka 6	722,74	722,70	722,69	722,32
Tačka 7	723,06	723,06	723,06	722,93
Tačka 8	726,93	726,93	726,93	726,93

Tabela 11. Geodetska mjerenja morfoloških promjena na profilu P8



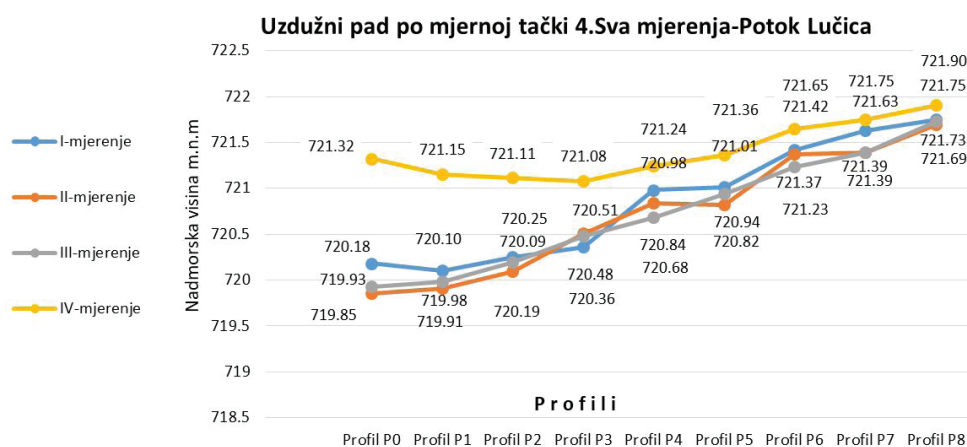
Slika 17. Profil P8-morfološke promjene

Prikaz morfoloških promjena na uzdužnom profilu po mjerneoj tački 4-sredina toka, date su u tabeli 12 gdje su geodetske koordinate na profilima od P₀-P₈ za I,II,III I IV mjerenje.

Geodetska merenja su vršena nakon prestanka padavina kada je to bilo tehnički izvodivo.

Mjerna tačka 4 Profili	I-mjerenje 10.11.2019 p=60,7 mm	II-mjerenje 07.03.2020 p=45,5 mm	III-mjerenje 26.09.2020 p=100,4 mm	IV-mjerenje 05.11. 2021 p=112 mm
Profil P0	720,18	720,38	719,93	721,32
Profil P1	720,10	719,91	719,98	721,15
Profil P2	720,25	720,09	720,19	721,11
Profil P3	720,36	720,51	720,48	721,08
Profil P4	721,48	720,84	720,68	721,24
Profil P5	721,01	720,82	720,94	721,10
Profil P6	721,42	721,37	721,23	721,65
Profil P7	721,63	721,39	721,39	721,75
Profil P8	721,75	721,69	721,73	721,90

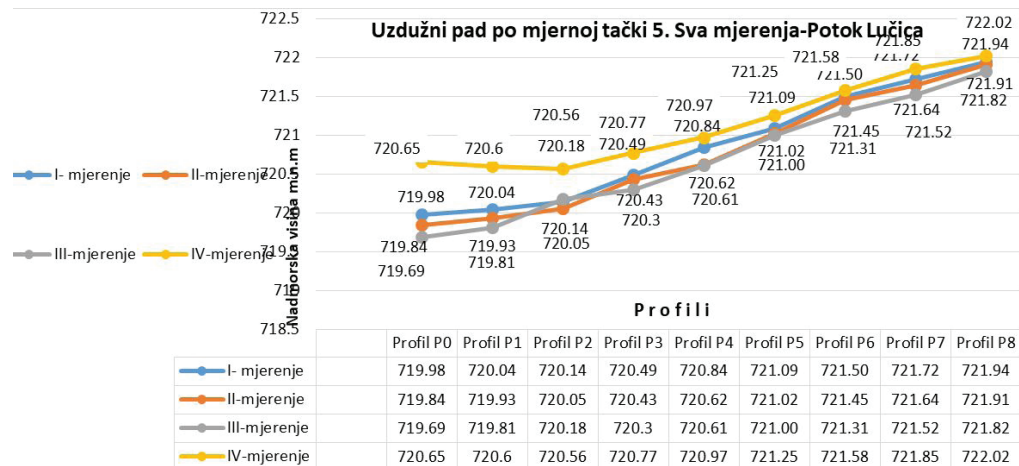
Tabela 12. Uzdužni pad dna korita Potoka Lučica za sva mjerenja po mjernoj tački 4.



Slika 18. Uzdužni profil mjerna tačka 4-morfološke promjene

Mjerna tačka 5 Profili	I-mjerenje 10.11.2019 p=60,7 mm	II-mjerenje 07.03.2020 p=45,5 mm	III-mjerenje 26.09.2020 p=100,4 mm	IV-mjerenje 05.11. 2021 p=112 mm
Profil P0	719,98	719,74	719,69	721,12
Profil P1	720,04	719,93	719,81	720,98
Profil P2	720,14	720,05	720,18	720,95
Profil P3	720,49	720,53	720,30	720,93
Profil P4	720,84	720,62	720,61	720,97
Profil P5	721,09	721,02	721,00	721,25
Profil P6	721,50	721,45	721,31	721,73
Profil P7	721,72	721,64	721,52	721,85
Profil P8	721,94	721,91	721,82	722,22

Tabela 13. Uzdužni pad dna korita Potoka Lučica za sva mjerenja po mjernoj tački 5.



Slika 19. Uzdužni profil mjerna tačka 5-morfološke promjene

5. Zaključci

Istraživani sliv potoka Lučica spada u male planinske slivove čija je površina 3,68182 km², a pokrivenost šumom je 95,46%, i pripada "pluvio-nivalnom" režimu, kojeg karakterišu najveći vodostaji u martu, aprilu, maju i novembru, a najniži u avgustu i septembru. Analizirajući padavine u nizu od 69 godina u periodu od 1952 do 2021. godine na meteorološkoj stanici Ivan Sedlo koja se nalazi 3,9 km od sliva potoka Lučica, primijetan je trend opadanja srednjih godišnjih padavina, dok je uočen trend rasta maksimalnih mjesečnih padavina. U periodu kontinuiranog osmatranja padavina u 2019, 2020 i 2021. godini, uočeno je da se u mjesecima koji prema "pluvio-nivalnom" režimu spadaju u sušne mjeseci ipak javljaju padavine s ekstremnim vrijednostima, a karakteristična je kiša u mjesecu septembru 29.09.2020. godine, intenziteta od p=100,4 mm, s ogromnih bujičnim poplavama što i te sušne mjeseci ubraja u potencijalno opasne i ukazuje na nepredvidivost pojave bujica.

Također posmatrajući pojave bujica u slivu potoka Lučica uočeno je da se bujice najčešće javljaju nakon intenzivnih konvektivnih kiša, što je potvrđeno mjerenjima padavina na stanicama Ivan Sedlo, Bjelašnica, Sarajevo kao i mini automatskoj meteorološkoj stanici postavljenoj u slivu.

Analizirajući rezultate izmjerenih intenziteta kiša utvrđeno je da je kiša intenziteta od p=100,4 mm na stanici Ivan Sedlo izazvala bujicu u slivu potoka Lučica s ogromnim materijalnim štetama, dok je u isto vrijeme na udaljenosti od 18 km na stanici Bjelašnica izmjeren značajno manji intenzitet kiše od 32,7 mm bez pojave bujica, kao i na udaljenosti od 32 km na stanici Sarajevo gdje je izmjeren najmanji intenzitet kiše od 11,4 mm, a ni ove kiše nisu izazvale bujice. To nas navodi na zaključak da se za prognoziranje bujica moraju uzeti u obzir lokalne specifičnosti i uslovi, a posebno orografske i konvektivne kiše.

Istražujući sliv Lučica mjerenjima vodostaja je dokazano da je veoma bitno da li se intenzivna kiša javila u periodu vegetacije zbog pokrivenosti sliva šumom 95,46 % ili se javila izvan tog perioda. Potencijal otjecanja, vodostaji i protok su bili znatno manji za vrijeme vegetacionog perioda, dok su i za manje intenzitete kiša izvan perioda vegetacije vodostaji i protoci bili veći. Značaj šuma dobrog sklopa i dispozicije, na nagetim terenima je jedan od presudnih faktora koji utječu na potencijal otjecanja i direktno doprinose smanjenju pojave bujica.

Geodetskim mjerenjima morfoloških promjena na potoku Lučica utvrđeno je da te promjene zavisne od veličine protoka i

kritične brzine bujične vode na koje utječu intenzitet kiša, nagib terena, prethodna vlažnost zemljišta u slivu, kao i pokrivenost sliva vegetacijom.

Na kraju se može zaključiti da bujice svojom nepredvidivošću, brzinom pojave, razornom snagom uz pogodne prirodne karakteristike, antropogene utjecaje i prisutne klimatske promjene, predstavljaju veliku opasnost za potencijalno ugrožena područj. Zbog toga je neophodno plansko preventivno djelovanje kroz jasno definirane mjere, kako bi se umanjile štete koje bujice izazivaju.

LITERATURA

- [1] Marcel Hürlimann, Raül Oorthuis, Clàudia Abancó, Luigi Carleo, José Moya (2019) *"Monitoring of rainfall and soil moisture at the Rebaixader catchment (Central Pyrenees)"*,
- [2] John T. Hardy, *Climate change, causes, effects and solutions*, John Wiley&Sons, Ltd, 2003.
- [3] Dušan Dukić *"Hidrologija kopna"*, Naučna knjiga Beograd, 1984.
- [4] Prof. dr. sc. Nedim Suljić, *"Hidrologija-Univerzitet u Tuzli Rudarsko-geološko-građevinski fakultet"*,
- [5] Laboratorijske analize „GEO Lab“ ul. Mustafe Bajića 19, Sarajevo 71000, Bosna i Hercegovina,
- [6] Nedžad Mekić, Emina Hadžić, *"Bujice, osobine, posljedice i preventivne mjere s osvrtom na Kanton Sarajevo" II Kongres o vodama "2019 Sarajevo"*.

Revitalizacija pilot područja Zmajevačkog Dunavca i Biljskog rita u Republici Hrvatskoj kao sastavni dio projekta Wetland Restore

/

Revitalization of the pilot area of Zmajevački Dunavac and Biljski rit in the Republic of Croatia as an integral part of the Wetland Restore project

Tanja Lubura Matković, dipl. ing. građ.

Institut za elektroprivredu d.d.
Kupska ul. 2, Zagreb, Hrvatska
tanja.lubura-matkovic@ie-zagreb.hr

Renata Vidaković Šutić, dipl.ing.građ.

Institut za elektroprivredu d.d.
Kupska ul. 2, Zagreb, Hrvatska
renata.sutic@ie-zagreb.hr

Vedrana Ričković, dipl.ing.građ.

Institut za elektroprivredu d.d.
Kupska ul. 2, Zagreb, Hrvatska
vedrana.rickovic@ie-zagreb.hr

Mario Spajić, dipl. ing. građ.

Hrvatske vode
Mario.Spajic@voda.hr

U sklopu 2. poziva za dostavu projektnih prijedloga INTERREG IPA Prekograničnog Programa Hrvatska-Srbija 2014-2020. prijavljen je projekt pod nazivom "WetlandRestore" za sufinanciranje EU sredstvima. Projektom Wetlandrestore planirana je izrada 5 planova revitalizacije na području Republika Hrvatske i Srbije. Od toga se dva pilot područja Zmajevački Dunavac i Biljski rit nalaze na području Republike Hrvatske i ona su predmet razrade. U sklopu navedenih aktivnosti provedena je analiza postojećeg stanja dva pilot područja u Republici Hrvatskoj, terenska istraživanja na predmetnim lokacijama, izrada koncepcije kao podloge za hidrotehnička rješenja obnove 2 pilot područja projekta „WetlandRestore“ u RH (Zmajevački Dunavac i Biljski rit). U projektu su predstavljena rješenja za poboljšanje očuvanja močvarnih područja. Projektom su dani primjeri najbolje prakse kako se potrebe upravljanja vodama mogu povezati s potrebama očuvanja prirode i kako obje mogu dovesti do održivog upravljanja vodnim ekosustavima.

Ključne riječi

Revitalizacija, močvara, močvarna područja

As part of the 2nd call for project proposals INTERREG IPA Cross-border Program Croatia-Serbia 2014-2020, a project called "WetlandRestore" for co-financing with EU funds has been submitted. The Wetlandrestore project plans to develop 5 revitalization plans in the Republic of Croatia and Serbia. Of these, two pilot areas Zmajevački Dunavac and Biljski rit are located in the territory of the Republic of Croatia and they are the subject of elaboration. As part of these activities, an analysis of the current situation of two pilot areas in the Republic of Croatia, field research at the sites, development of the concept as a basis for hydrotechnical solutions for the reconstruction of 2 pilot areas of the project "WetlandRestore" in Croatia (Zmajevački Dunavac and Biljski rit). The project presents solutions to improve the conservation of wetlands. The project provides examples of best practice on how water management needs can be linked to nature conservation needs and how both can lead to sustainable management of aquatic ecosystems.

Key words

Revitalization, wetland, wetlands, WetlandRestore Project

U sklopu 2. poziva za dostavu projektnih prijedloga INTERREG IPA Prekograničnog Programa Hrvatska-Srbija 2014-2020. prijavljen je projekt pod nazivom "WetlandRestore" za sufinanciranje EU sredstvima. Hrvatske vode, pravna osoba za upravljanje vodama kao partner u Projektu zadužen je za tehnički dio provedbe Projekta na pilot područjima revitalizacije u Republici Hrvatskoj.

Projektom WetlandRestore planirana je izrada 5 planova revitalizacije na području Republika Hrvatske i Srbije. Od toga se dva pilot područja Zmajevački Dunavac i Biljski rit nalaze na području Republike Hrvatske i ona su predmet razrade. U sklopu navedenih aktivnosti provedena je analiza postojećeg stanja dva pilot područja u Republici Hrvatskoj, terenska istraživanja na predmetnim lokacijama, izrada koncepcije kao podloge za hidrotehnička rješenja obnove 2 pilot područja projekta „WetlandRestore“ u RH (Zmajevački Dunavac i Biljski rit). Pilot područja hidrografski pripadaju slivu Donje Drave i Dunava.

U projektu su predstavljena rješenja za poboljšanje očuvanja močvarnih područja. Projektom su dani primjeri najbolje prakse kako se potrebe upravljanja vodama mogu povezati s potrebama očuvanja prirode i kako obje mogu dovesti do održivog upravljanja vodnim ekosustavima.

1. Predmetno područje

1.1. Biljski rit

Područje Biljskog rita smješteno je u općini Bilje u neposrednoj blizini jugozapadnog dijela Kopačkog rita, a omeđeno je nasipom Drava-Dunav s istoka i juga, biljskom Starom Dravom sa sjevera te županijskom cestom ŽC4257 sa zapada (Slika 1).

Predmetno područje prostire se na cca 2000 ha, u većinskom je vlasništvu Republike Hrvatske, najvećim je dijelom u šumsko-gospodarskoj osnovi Hrvatskih šuma, a nalazi se u ekološkoj mreži Natura 2000 i Regionalnom parku Mura-Drava.

Ovo područje predstavlja ranije poplavno područje Dunava i Drave koje je izgradnjom nasipa Drava-Dunav razdvojeno od poplavnog područja koje je kasnije proglašeno Parkom prirode Kopački rit. Unatoč tome preostale su brojne prirodne depresije (mrtvaje, rukavci) u kojima je došlo do velikog smanjenja vodenih površina, a koje su pogodne za revitalizaciju vodenih staništa.



Slika 1. Prikaz predmetnog područja Biljskog rita na recentnoj topografskoj podlozi (TK M: 1:25 000)

Najvažnije značajke ovog područja su brojne depresije - nekadašnji rukavci Drave, ali nemaju direktnu vezu s Dravom, nego je vodni režim, zbog značajne poroznosti pjeskovitog tla, ovisan o vodostajima Drave i Dunava, te

vlažne livade i šume. Sadašnje stanje područja Biljskog rita ukazuje na daljnju degradaciju vodnih ekosustava. Prema podacima s topografskih karata iz 1974. godine trajne vodene površine prostirale su se na 295 ha, a prema podacima s recentnih topografskih karata svedene su na samo 21 ha uslijed nemogućnosti ulaska poplavnih voda te dugogodišnjeg taloženja organskog materijala i sukcesije šumskih staništa.

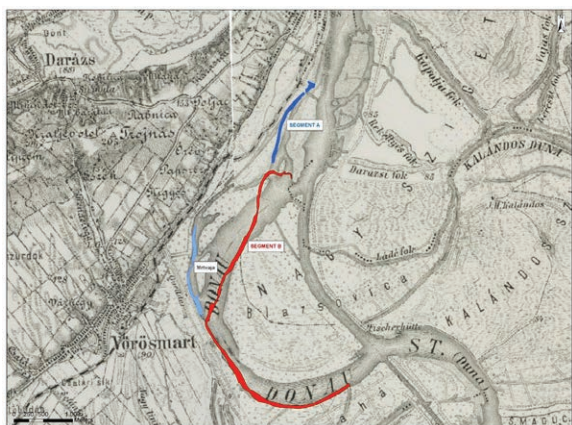
Značajnije vodene površine su: Stara Drava Bilje, Žadanj bara, Janči bara, Pavlova bara (predmetne bare na Slici 1 označene su plavom bojom). Sve ove vodene površine su u depresijama koje su stari rukavci rijeke Drave.

U prošlosti ovo područje bilo je izuzetno značajno za riblji fond, a ujedno i ukupni biljni i životinjski svijet Kopačkog rita, obzirom da je vodni režim dopuštao izuzetno bogat mrijest autohtonih ribljih vrsta. Tijekom zimskog razdoblja na ovom području zimuju brojne vrste ptica (divlje guske itd.).

1.2. Zmajevački Dunavac

Predmetno područje Zmajevačkog Dunavca (u daljnjem tekstu Zmajevački Dunavac ili samo „rukavac“) u većinskom je vlasništvu Republike Hrvatske, smješteno je većim dijelom na području općine Kneževi Vinogradi te malim dijelom na području općine Draž. Predstavlja poplavno područje Dunava, a vodni režim je ovisan o vodostajima Dunava. Nakon povlačenja velikih voda Dunava u depresijama ostaju vodene površine. Promatrano područje Zmajevačkog Dunavca omeđeno je nasipom Zmajevac-Kopačevo sa zapada, nasipom Gomboš sa sjeverozapada, rijekom Dunav s istoka, i Monjoroškim Dunavcem s juga. Prostire se na cca 1.000 ha, najvažnije karakteristike ovog područja su vlažne livade i poplavne šume te brojne depresije i mrtvaje. Vodni režim je izravno ovisan o vodostajima Dunava. Nakon povlačenja velikih voda Dunava u depresijama

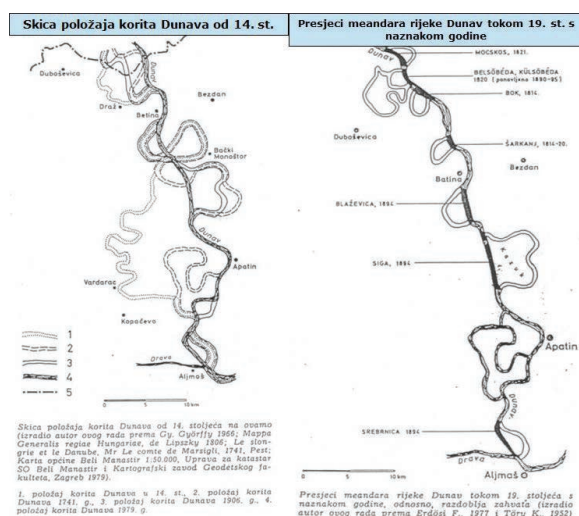
ostaju vodene površine, koje su stari rukavci, nastali promjenama toka (prirodnim procesima ili izgradnjom regulacijskih vodnih građevina). Tijekom zimskog razdoblja na ovom području zimuju brojne vrste ptica.



Slika 2. Prikaz povijesne karte (1911. godina) i aktualnog stanja Zmajevačkog Dunavca

Slijedeće dvije skice odnose se na prikaz položaja korita Dunava u različitim razdobljima u povijesti – skica lijevo 14. st. te skica desno 19. st. – vidljivo je da je tok Dunava kroz povijest mijenjao svoju trasu i oblik (Slika 3).

Desna skica prikazuje presjecanja meandara rijeke Dunav tokom 19. st. s naznakom godine, odnosno razdoblja zahvata.



Slika 3. Skice položaja korita Dunava u 14. i 19. st.

Prije stotinjak godina korito rijeke Dunav skraćeno je izgradnjom nekoliko prokopa

u cilju formiranja plovnoga puta. Izvedba prokopa imala je za posljedicu odvajanje riječnih rukavaca Dunava, pojedini potpuno odsječeni od matične rijeke, pojedini rukavci osiromašeni su za vodne količine dok su neki zamuljeni.

Iz priloženih skica i karata (Slike 2 i 3) vidljivo je da je predmetni Zmajevački Dunavac u prošlosti bio dio matične rijeke (Dunav), ali uslijedi provedenih hidrotehničkih radova tijekom 19. st. on više nije dio korita matične rijeke već preuzima ulogu rukavca rijeke Dunav.

2. Analiza postojećeg stanja i problematika

2.1. Biljski Rit

Stara Drava je ostatak nekadašnjeg korita rijeke Drave, a pruža se sjeverno od njezinog današnjeg toka na području između Osijeka i Bilja. Glavni je recipijent melioracijske odvodnje južne i dijela zapadne Baranje uz kanal Barbara koji se ulijeva u Staru Dravu, a zatim se kanalom Kopačevo ulijeva u inundacijsko područje Dunava (jezero Sakadaš, područje PP Kopački rit) kod mjesta Kopačevo (slika 4). Uljev je reguliran ustavom Kopačevo, tako da je pri povoljnim vodostajima moguće i upuštanje vode iz Dunava u Staru Dravu i uz određene zahvate u područje Biljskog rita.

Osim ustave Kopačevo, postoji i ustava Bilje, a smještena je u koritu Stare Drave na ŽC4257, neposredno uz naselje Bilje. Ustavom Bilje se vrši regulacija vodnog režima kanalske mreže melioracijske odvodnje jugoistočnog dijela slivnog područja Baranja.

Može se reći da je Stara Drava tekućica, usporena ustavama koje stvaraju retencije u koritu i definiraju vodni režim, prvenstveno razinu vode i protok, odnosno količinsko stanje vode u retencijama.

Na slici 4 dan je kartografski prikaz za recentno stanje predmetnog područja Biljski rit. Osim Stare Drave preostale su i brojne prirodne depresije (mrtvaje, rukavci) u kojima je došlo do velikog smanjenja vodenih površina (prema podacima s topografskih karata iz 1974. godine trajne vodene površine prostirale su se na 295 ha, a prema podacima s recentnih topografskih karata svedene su na samo 21 ha), a pogodne su za revitalizaciju vodenih staništa.

Sadašnje stanje područja Biljskog rita ukazuje na daljnju degradaciju vodnih ekosustava.

Cilj projekta „WetlandRestore“ je omogućiti ulazak novih količina voda na predmetno područje i njihovo akumuliranje u cilju revitalizacije ranijih vodenih površina, odnosno uređenjem starih rukavaca stvoriti novi trajni vodeni/močvarni ekosustav na prostoru „izgubljenih“ vodenih površina.



Slika 4. Prikaz predmetnog područja Biljskog rita na DOF podlozi

2.2. Zmajevački Dunavac

Zmajevački Dunavac sastoji se od dva segmenta:

- ▶ Segment A (uz Zeleni otok)
- ▶ Segment B.

U postojećem stanju ova dva segmenta u razdoblju malih i srednjih voda nemaju međusob-

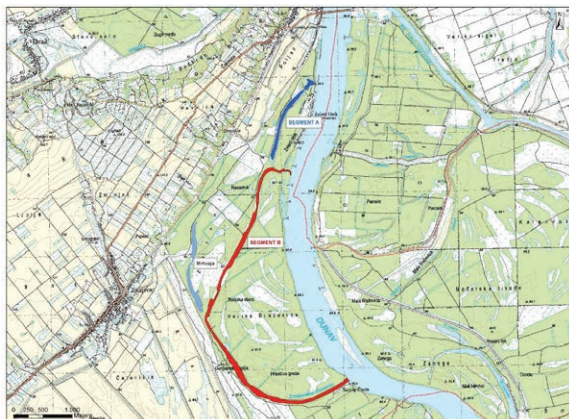
nu komunikaciju, dok kod velikih voda dolazi do njihove međusobne komunikacije (Slika 5).

Segment A Zmajevačkog Dunavca (uz Zeleni otok) presječen je paralelnom građevinom, do kote male vode. Paralelna građevina fiksira korito na regulacijskoj liniji čime se postižu povoljni uvjeti za plovidbu, pronos leda i nanosa. Također, rukavac je presječen pristupnom cestom za Zeleni otok. Pristupna cesta koja se pruža sa obale prema Zelenom otoku izgrađena je na visokom nasipu. Nasip ceste presijeca predmetni rukavac na dva dijela. U tijelu nasipa postojeće pristupne ceste nije izveden propust, čime je onemogućeno protjecanje svježije vode između uzvodnog i nizvodnog dijela rukavca.

Između paralelne građevine i nasipa kojim prolazi cesta za Zeleni otok na rukavcu je izgrađena zemljana pregrada koja služi za zadržavanje vode u rukavcu, nakon pojave velikih voda. Nakon što se Dunavske vode preliju preko paralelne građevine i zemljane pregrade (s uzvodne strane) te zamuljenog dijela s nizvodne strane, ulaze u Zmajevački Dunavac. Na nizvodnom dijelu segment A nema spoj sa segmentom B niti s Dunavom.

Segment B Zmajevačkog Dunavca ima vezu sa segmentom A tek kod velikih voda. Na otprilike sredini rukavca na mjestu gdje je nasip najbliže rukavcu izgrađena je reverzibilna crpna stanica Zmajevac kojom se voda upušta u lateralni kanal Kneževi Vinogradi-Zmajevac u periodima deficita voda, odnosno odvodi vode iz lateralnog kanala u rukavac u razdoblju velikih voda. Na nizvodnom dijelu rukavac se opet spaja s Dunavom. Segment B je i na ulazu i na izlazu direktno spojen s Dunavom.

Sa zapadne strane segmenta B rukavca nalazi se Mrtvaja koja nema spoj sa Zmajevačkim Dunavcem (osim pri visokim vodostajima) te ima karakteristike stajačice.



Slika 6. Prikaz predmetnog područja s ucrtanim hidrotehničkim građevinama (DOF, M 1:30 000)

Sadašnje stanje područja Zmajevačkog Dunavca zbog nedovoljnih vodnih količina ukazuje na daljnju degradaciju vodnih ekosustava. Ovo područje bilo je izuzetno značajno za riblji fond, a ujedno i ukupni biljni i životinjski svijet, obzirom da je vodni režim dopuštao izuzetno bogat mrijest autohtonih ribljih vrsta. Uslijed ljudskih aktivnosti i prirodnih procesa, došlo je do smanjenja vodenih površina, a koje su pogodne za restauraciju vodenih staništa.

Problematika Zmajevačkog Dunavca:

SEGMENT A RUKAVCA

- ▶ nedovoljne količine vode u rukavcu i protočnost u razdoblju malih i srednjih voda
- ▶ presušivanje dijela rukavca
- ▶ mali pad dna rukavca

- ▶ pojava zamuljenja zbog malih padova i nedovoljnih količina vode u rukavcu
- ▶ onemogućeno kontinuirano protjecanje vode kroz rukavac zbog trenutnog oblika paralelne građevine, pregrade izvedene uzvodno od nasipa te samog nasipa na kojem se nalazi pristupna cesta za Zeleni otok

SPOJ SEGMENTA A I B

- ▶ u razdoblju malih voda ne postoji veza segmenta A i B rukavca

SEGMENT B RUKAVCA

- ▶ nepovoljno hidraulički oblikovan ulaz dunavske vode za vrijeme malih i srednjih voda
- ▶ nedostatne količine vode u rukavcu u razdoblju malih voda
- ▶ presušivanje na dijelu rukavca
- ▶ mali pad dna rukavca
- ▶ pojava zamuljenja zbog malih padova i neprotočnosti vode u rukavcu
- ▶ pojava sprudova u razdoblju malih voda
- ▶ problem s pronosom nanosa
- ▶ erozija obale u zoni crpne stanice

3. Konceptijsko rješenje uređenja

3.1. Biljski rit

Aktivnosti na ekološkoj revitalizaciji odnose se na povezivanje odvojenih meandara i rukavaca, a izvode se hidrotehničkim mjerama u vidu iskopa, prokopa, pragova, sanacije pokosa, proširenja, niveliranja, u cilju osiguranja ulaska i zadržavanja vode u rukavcima u svim hidrološkim uvjetima (uključujući i male vode), dok ostale mjere poboljšanja uključuju

sanacije postojećih objekata (zapornica i sl.), koji zbog dotrajalosti više ne izvršavaju svoju funkciju punjenja i pražnjenja rukavaca i meandara; izmuljenje i sl.

Pri provedbi mjera za poboljšanje stanja voda, treba se voditi principima ekološke revitalizacije voda. Poduzete mjere moraju biti bliske prirodi, uz što manju upotrebu mehanizacije i građevina od umjetnih materijala kojima se remeti prirodni ekosustav.

S obzirom na zahvat i dovod vode mogu se razmatrati četiri varijante:

- ▶ dovod vode iz Stare Drave korištenjem unutarnjih voda iz postojećih melioracijskih kanala,
- ▶ dovod vode iz Kopačkog rita preko postojeće ustave Kopačevo,
- ▶ gravitacijski dovod vode iz Drave izvedbom nove upusne ustave na dravskom nasipu na lokaciji koja je najbliža predmetnom području,
- ▶ dovoda vode u Biljski rit kao kombinacija prethodno navedenih zahvata vode na način da se koriste vode iz Kopačkog rita preko ustave Kopačevo (koja je u funkciji) te unutarnje vode zahvaćanjem iz Stare Drave, kao mogućnost dopunjavanja vodom predmetnih bara za vrijeme trajanja malih voda rijeke Drave kad je onemogućen zahvat Dravske vode preko planirane ustave na nasipu Drava-Dunav. Postoji i mogućnost obrnutog puta: ako je primarni zahvat voda iz Stare Drave, onda se iz Drave preko ustave vrši nadopuna voda kad su smanjeni dotoci iz melioracijskih kanala.

U nastavku se daju 4 varijante revitalizacije predmetnog područja Biljskog rita s obzirom na dovod vode i faze revitalizacije. Na slikama u nastavku (Slike 7 do 10) iza teksta prikazana

je situacija predloženih mjera revitalizacije Biljskog rita.

1. Varijanta – odnosi se na prvu fazu revitalizacije (Slika 7)

- ▶ uključuje dovod vode iz Stare Drave i korištenje voda iz Kopačkog rita upustom preko postojeće ustave Kopačevo
- ▶ potrebna je revitalizacija postojećeg kanala kojim bi se upuštala voda iz Stare Drave
- ▶ izvedbom novih kanala povezale bi se postojeće vodne površine
- ▶ izvedbom tri praga definirale bi se željene razine vode u Biljskom ritu



Slika 7. Revitalizacija područja Biljski rit – Varijanta 1 – Prva faza

2. Varijanta (Slika 8)

- ▶ odnosi se na nastavak revitalizacije Biljskog rita povezivanjem ostalih vodnih površina
- ▶ također uključuje dovod vode iz Stare Drave i iz Kopačkog rita preko ustave Kopačevo, zatim rekonstrukcija postojećeg i izgradnja novih kanala, te planirana izvedba tri praga
- ▶ ova varijanta još uključuje produbljenje dna već postojećih bara u Biljskom ritu iskopom materijala i/ili kanala u prostoru između već postojećih bara

čime bi se dobilo jedinstveno vodno tijelo

- ▶ na pojedinim većim depresijama po sredini mogu se ostaviti otoci
- ▶ potrebno je provesti i sanaciju obala bara i rukavaca nakon izmuljivanja materijala sa dna.

materijala i/ili kanala u prostoru između već postojećih bara čime bi se dobilo jedinstveno vodno tijelo

- ▶ sanacija obala bara i rukavaca nakon izmuljenja
- ▶ na pojedinim većim depresijama po sredini mogu se ostaviti otoci

Mjere revitalizacije treba osigurati ka suzbijanju uznapredovale sukcesije u području Biljskog rita i osiguranju što većeg vodnog tijela, što će u svakom slučaju imati povoljne učinke i po biljni i životinjski svijet u ovom području. Odnosno, potrebno je osigurati češću izmjenu, nadopunjavanje i osvježavanje bara vodom, kao i veću protočnost vode tijekom godine, pa sukladno tome trebalo bi predmetne bare Žadanj bara, Janči bara, Pavlova bara mrežom kanala spojiti u jedinstvenu cjelinu povezanu sa Starom Dravom.



Slika 9. Revitalizacija područja Biljski rit – Varijanta 3



Slika 8. Revitalizacija područja Biljski rit – Varijanta 2

3. Varijanta (Slika 9)

- ▶ uključuje osiguranje vode iz Drave izvedbom nove ustave na nasipu
- ▶ kao i kod prethodne varijante potrebna je rekonstrukcija postojećeg i izgradnja novih kanala, te planirana izvedba tri praga
- ▶ također uključuje produbljenje dna već postojećih bara u Biljskom ritu iskopom

4. Varijanta -uključuje osiguranje dovoda vode u Biljski rit kao kombinacija prethodno navedenih varijanti (Slika 10)

Ovom varijantom se sagledava cjelovito rješenje uređenja Biljskog rita, na način da se analizira dovod vode u Biljski rit kao kombinacija prethodno navedenih zahvata, tako da se koriste vode iz Kopačkog rita preko ustave Kopačevo (koja je u funkciji) te unutarnje vode zahvaćanjem iz Stare Drave, kao mogućnost pripunjavanja vodom predmetnih bara za vrijeme trajanja malih voda rijeke Drave kad je onemogućen zahvat Dravske vode preko planirane ustave na nasipu Drava-Dunav. Kao i obrnuto: ako je primarni zahvat voda iz Stare Drave, onda se iz Drave preko ustave vrši nadopuna voda kad su smanjeni dotoci iz melioracijskih kanala. Iako bi prednost trebalo dati Dravskoj vodi zbog bolje kvalitete. Prednost zahvaćanja vode iz Stare Drave je u tome što se na taj način simuliraju prirodni uvjeti tečenja, odnosno u ovom slučaju voda bi se upuštala u područje Biljskog rita u pravcu toka.



Slika 10. Revitalizacija područja Biljski rit - Varijanta 4

Također ova varijanta uključuje u prethodnim varijantama planirane potrebne radove kao što je rekonstrukcija postojećeg i izgradnja novih kanala, te planirana izvedba tri praga. Kao i u prethodnim varijantama produbljenjem dna već postojećih bara u Biljskom ritu i iskopom materijala i/ili kanala u prostoru između već postojećih bara dobilo bi se jedinstveno vodno tijelo (što je nekada činilo područje rukavca). Tako bi se postigla bolja protočnost vode tijekom godine.

Nakon provedenog izmuljivanja materijala sa dna potrebno je provesti i sanaciju obala bara i rukavaca.

Često se za sanaciju pokosa koristi pleter od vrbovine koja se pričvršćuje drvenim kolcima. Na taj se način osigurava podloga za ozelenjavanje pokosa što osigurava stanište za kukce, ptice i manje sisavce.

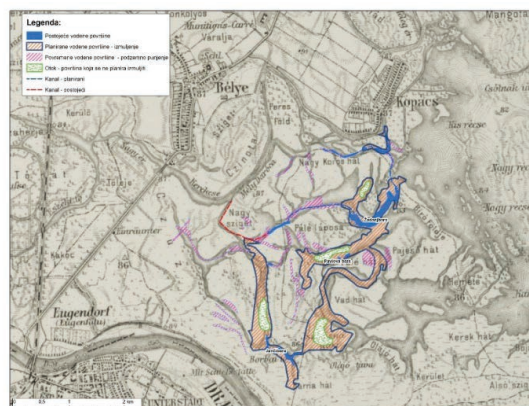
S time da se na pojedinim većim depresijama po sredini mogu ostaviti otoci, kako je prikazano na Slikama 8 do 10 zelenom šrafurom. Predmetni otoci mogu biti planirani kao potencijalna staništa za razmnožavanje ptica sprudišta, poput primjerice male čigre (*Sterna albifrons*).

Navedenim mjerama revitalizacije vodene površine bi se mogle povećati čak na 213 ha, a prema trenutno dostupnim podacima s to-

pografskih karata vodene površine su na cca 20 ha. Na Slikama 8 do 10 prikazane su i ostale površine koje su povremeno pod vodom (ovise o podzemnom punjenju) i nisu predviđene za površinsko spajanje s ostalim ostalim vodnim površinama. Ove površine zauzimaju cca 66 ha.

Revitalizacijom ranijih vodenih površina, odnosno uređenjem starih rukavaca stvorili bi se novi trajni vodeni/močvarni ekosustav na prostoru „izgubljenih“ vodenih površina.

Slika 11 prikazuje planirano (u cjelini) revitalizirano područje Biljskog rita u odnosu na povijesno stanje iz 1911. godine.



Slika 11. Prikaz povijesne karte (1911. godina) i planirane revitalizacije područja Biljskog rita

3.2. Zmajevački Dunavac

Osnovni koncept uređenja Zmajevačkog Dunavca temelji se na uspostavljanju komunikacije segmenata A i B rukavca te osiguranje protočnosti kroz rukavac u svim hidrološkim uvjetima i stabilizacija obale ekološkim mjerama, a sve kako bi se zadržalo dobro postojeće stanje, odnosno, poboljšalo stanje ekosustava za ciljne stanišne tipove, ciljne vrste, staništa ciljnih vrsta, odnosno strogo zaštićene vrste te ugrožene i rijetke stanišne tipove karakteristične na širem području lokacije koje su utvrđene provedenim biološkim monitoringom postojećeg stanja lokacije.

- ▶ izraditi rješenja dovoda vode uključujući hidrauličko modeliranje tečenja - simulirati punjenje područja Biljskog rita vodom pri različitim hidrološkim uvjetima
- ▶ razraditi rješenja načina osiguranja njenog zadržavanja i osvježanja (izmuljivanje, evakuacijski objekti, sanacije pokosa, nasipi i sl.).

Za potrebe provedbe konceptijskog rješenja Zmajevačkog Dunavca predložena je provedba slijedećih aktivnosti:

- ▶ Geodetsko snimanje koje uključuje hidrografsko snimanje poprečnih profila korita rukavca
- ▶ Hidrološke analize temeljem zabilježenih vodostaja na hidrološkim stanicama na Dunavu (sa izradom krivulja trajanja i učestalosti vodostaja)
- ▶ Hidrauličko modeliranje tečenja kroz rukavac za predloženu koncepciju uređenja
- ▶ Razrada varijanti osiguranja protočnosti (za različite vodostaje Dunava i različite kote krune paralelne građevine, različite geometrije rukavca - uzdužne padove dna rukavca, različite širine dna rukavca)
- ▶ Odabir najpovoljnije varijante revitalizacije rukavca kojom bi se omogućio protok vode iz Dunava kroz cijelu godinu
- ▶ Izrada konceptijskog rješenja uklanjanja nanosa
- ▶ Provedba geotehničkih istražnih radova

LITERATURA

- [1] Institut za elektroprivredu i energetiku d.d., EKONERG d.o.o., USLUGA TEHNIČKE POMOĆI PRI PROVEDBI PROJEKTA „WETLANDRESTORE“ SUFINANCIRAN EU SREDSTVIMA U SKLOPU INTERREG IPA PREKOGRANIČNOG PROGRAMA HRVATSKA-SRBIJA 2014-2020, Zagreb, 2021.

Prirodno (“naturalno”) uređenje riječnih tokova

/

Natural regulation of river flows

Kerim Hrapović, EUR ING Civil Eng.

Ph.D., Mst., court certified expert for civil engineering, Austria
kerimhrapovic046@gmail.com

Jedan od najvažnijih ciljeva hidrotehnike bliske prirodnim procesima vodotoka jeste ostavljanje dovoljno prostora vodotoku da se on pomoću njegove sopstvene dinamike može slobodno razvijati. Ukoliko postojeći granični uslovi ne dozvoljavaju slobodni razvoj vodotoka, onda mora čovjek ciljno da interveniše i usmjerava tu dinamiku. Pri tome se hidrotehnika bliska prirodnim procesima vodotoka služi samodinamičkim razvojem i koristi takve konstrukcione metode i materijale koji se nalaze u posmatranom vodotoku.

Ključne riječi

Metode izgradnje, hidrotehnika bliska prirodnim procesima vodotoka, renaturizacija, rijeka, vodotok

One of the most important aims of near-natural hydraulic engineering is to leave a flowing water sufficient space so that it can develop freely through its own dynamics. Develop freely through its own dynamics. If the existing boundary conditions do not allow a free development If the existing boundary conditions do not permit free development, man must intervene in a guiding manner. Near-natural hydraulic engineering development or such construction methods and materials as are used at the location in the watercourse, materials that could also occur naturally in the watercourse.

Key words

Construction methods, near-natural hydraulic engineering, renaturation, river, water flow

Praktično više i nema prirodnih pejzaža vodotoka na koje ljudi direktno ili indirektno ne utiču. Razne mjere u slivnom području kao što su korišćenje hidroelektrana i zaštita od poplava, mogu imati toliko snažan uticaj na režim oticanja ili dinamičku ravnotežu korita da postoje deformacije (erozija) dna u donjem toku vodotoka, iako vodno tijelo u tom području ima sasvim dovoljno prostora a nije čak ni ograničeno [1].

Promjene u procesu dinamičkog razvoja rijeke treba započeti tek kada se razjasne predviđeni ekološki ciljevi i odrede granični uslovi. U tu svrhu, svi zahvati u razvoju prirodnog toka vode moraju biti provjereni na njihov efekat odnosno njihov dalji uticaj na prirodni tok rijeke. Ako se sama intervencija ili posljedice na tok vode ne moraju korigovati, onda one moraju biti uključene u planiranje [1].

Hidrotehničke mjere koje pokreću samodinamički razvoj vodotoka odlikuju se činjenicom da one nikada ne stvaraju „gotovo, svršeno stanje“ nakon završetka građevinskih radova.

Ovim građevinskim mjerama stvaraju se samo grube strukture, koje se u daljem procesu „obradjuju“ kreativnom snagom vode [1](Sl.1). Promjene u procesu dinamičkog razvoja rijeke treba započeti tek kada se razjasne predviđeni ekološki ciljevi i odrede granični uslovi.

U tu svrhu, svi zahvati u razvoju prirodnog toka vode moraju biti provjereni na njihov efekat odnosno njihov dalji uticaj na prirodni tok rijeke. Ako se sama intervencija ili posljedice na tok vode ne moraju korigovati, onda one moraju biti uključene u planiranje [1].

Hidrotehničke mjere koje pokreću samodinamički razvoj vodotoka odlikuju se činjenicom da one nikada ne stvaraju „gotovo, svršeno stanje“ nakon završetka građevinskih radova. Ovim građevinskim mjerama stvaraju se samo grube strukture, koje se u daljem procesu „obraduju“ kreativnom snagom vode [1](Sl.1).



Slika 1. 18 godina sopstvenog dinamičkog razvoja jednog rukavca rijeke Sieg, doveli su do njegovog „prirodnog“ (naturalnog) oblikovanja [1]

1. Promjene u razvoju vodotoka

Razvijanje vodotoka odnosno linija njegovog toka (riječna trasa), uzdužni i poprečni profili kao i struktura vodenog korita, uvijek se moraju posmatrati kao jedinstvena cjelina koja se razvija u njihovoj međusobnoj interakciji. Prije intervencije u dotadašnjem razvoju vodotoka, preporučljivo je dobro proučiti strukture referentnih vodotoka i implementirati ih u posmatrani projekat.

Kada se jedan vodotok u potpunosti nanovo projektuje, njegovo planiranje treba da bude zasnovano na prirodnom razvoju vodotoka u dotičnom prirodnom području, odnosno da pri tome ne dolazi do velikih odstupanja između karakteristika referentnih vodotoka i dotičnog „novog“ vodotoka [1].

Za razliku od novih projekata vodotoka, poboljšanju razvoja postojećeg vodotoka može se pristupiti na jednostavniji i pragmatičniji način. Na primjer, jedna „ispravljena“ rijeka se može „iskrivudati“ da bi tako linija toka bila što prirodnija. U tu svrhu uklanja se obaloutvrda na odgovarajućem mjestu vodotoka i postavlja se uzvodno na suprotnoj obali. Regulaciona građevina, u ovom slučaju naper, pojačava postojeće strujanje vodotoka tako da se na taj način „napada“ područje obale koje više nije obezbjeđeno i tako stvara „prolok“ na konkavnoj obali vodotoka (sl. 2). Materijal koji se tom prilikom erodira, transportuje se i nizvodno odlaže [1].

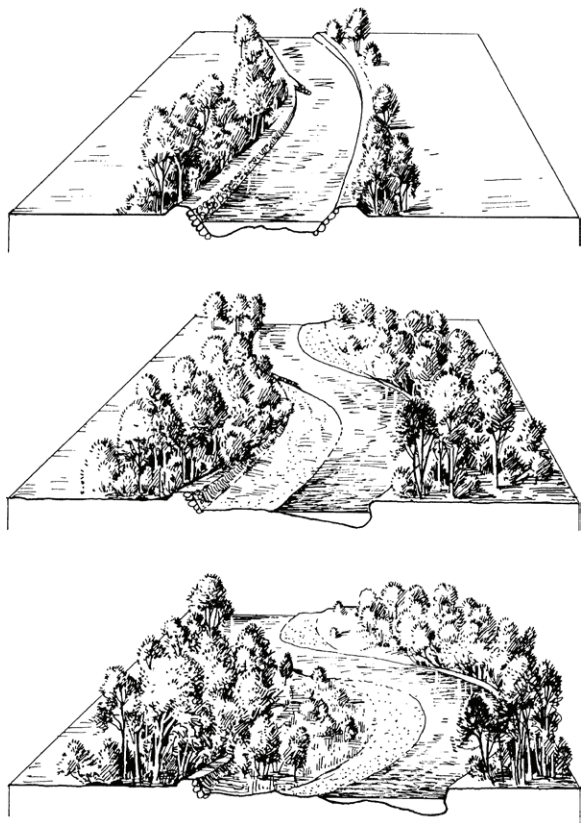
Uslijed nastajanja novog „proloka“, strujanje vodotoka se pojačano usmjerava ka suprotnoj obali rijeke na kojoj se takodje mora ukloniti obaloutvrda da bi se inicirani proces nastajanja vodotoka na taj način nastavio, čime dolazi do formiranja riječnog korita sa naizmjeničnim stukturama „sprudova“ i „proloka“ [1].

2. Ekološka prohodnost za organizme

2.1. Rijeke kao ekološki sistemi

Po pravilu, prirodne tekuće vode su visoko umreženi ekosistemi koji su oblikovani i određeni (karakterizovani) raznovrsnim prostorno-vremenskim interakcijama između različitih područja vodnog tijela, riječnog korita i okolnog područja (inundacije). Veliki broj tipova staništa, podstaništa (mezohabitata) i ekoloških niša povezani su jedni sa drugima

preko vodnih tijela rijeka, kako u maloj distribuciji i malim udaljenostima, tako i na udaljenostima od više stotina pa do više hiljada kilometara. Vodeni organizmi, posebno ribe, savršeno su prilagođeni ovoj raznovrsnosti umreženih staništa [1].



Slika 2. Poboljšanje (renaturizacija) vodenog toka uklaňanjem obaloutvrde i „iskrivljenjem“ vodotoka pomoću napera [1]

Bogatstvo vrsta riblje faune i integritet ribljih populacija u velikoj mjeri zavise od dostupnosti različitih, prostorno odvojenih djelimičnih staništa u okviru riječnog sliva. U slučaju riba selica (migranata) na velikim udaljenostima kao što je npr. *losos*, djelimična staništa se nalaze čak i u udaljenim morskim staništima koja su povezana sa slatkom vodom. Nasuprot tome, prekid ove mreže a samim tim odvajanje i povlačenje važnih, djelimično vitalnih podstaništa, dovodi do značajnog narušavanja riblje faune, do smanjenja raznovrsnosti vrsta (biodiverziteta) i na kraju do destabilizacije i degradacije takozvane *metapopulacije* (mreža lokalnih populacija između kojih postoji

manje-više intenzivna razmjena migracionih jedinki) [2].

2.2. Osnovni tipovi migracije (seobe) riba

Postoje osnovne vrste migracija riblje faune [2]:

Diadrom

Generalni naziv za sva migratorna kretanja riba koja prelaze između oblasti morske i slatke vode. Dijadromne migracije su često takozvane dugačke migracije (udaljenosti > 300 km u jednom pravcu, godišnje). Dijadromski migrirajuće ribe se klasifikuju na slijedeći način [2]:

- ▶ *Anadrom*: to su dijadromne vrste koje uglavnom žive u moru i migriraju na svoja mrijestilišta u slatkim vodama (*losos*, morska pastrmka, zrakoperka, jesetra). Anadromne vrste crnomorske jesetre (*moruna*, ruska jesetra i *sevruga*), čiji su pojedinačni primjerci u prošlosti povremeno dolazili do Bavorskog Dunava, međutim smatra se da su tamo poodavno izumrli odnosno nestali.
- ▶ *Katadrom*: to su dijadromne vrste riba koje uglavnom žive u slatkoj vodi i migriraju u more do svojih mrijestilišta. Jegulja je jedina katadromna migratorna riba koja potiče iz Bavorske. Međutim njeno prirodno stanovište u Bavarskoj je ograničeno na sliv Majne. U Dunavu je jegulja doduše rasprostranjena ali ipak nije autohtona (domaća).
- ▶ *Amfidrom*: to su dijadromne vrste riba kao što su *iverke*, koje redovno putuju tamo-vamo između mora i slatke vode tokom svog životnog ciklusa (uglavnom migracija u potrazi za hranom).

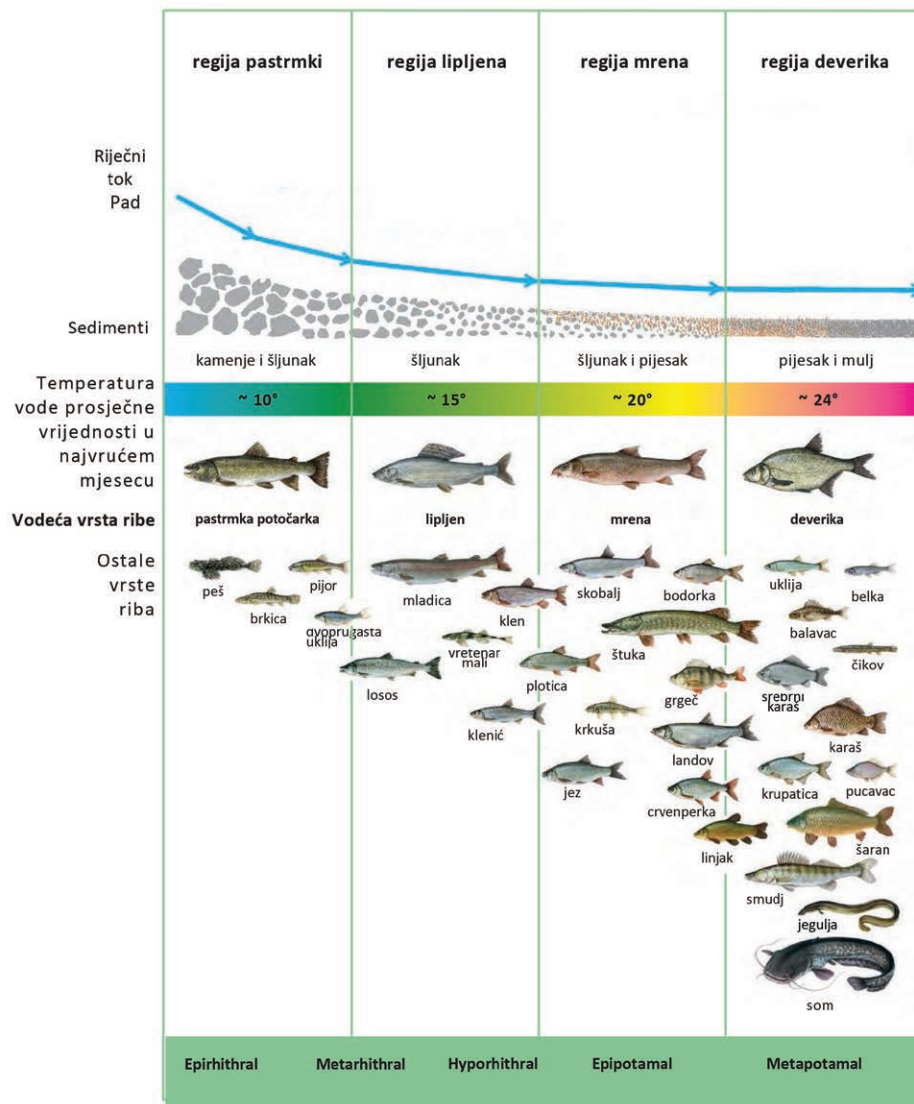
Potamodrom

Potamodromne migracije su migracije koje se odvijaju isključivo u slatkim vodama i koje se mogu proširiti na udaljenosti od nekoliko kilometara (seobe na kratke udaljenosti do ca. 30 km godišnje), pa do stotinu kilometara i više (migracije na srednje udaljenosti do ca. 300 km godišnje). Nakon nestanka velikih jesetri, praktično sve ritalne i reofilne vrste riba porijeklom iz Bavorskog Dunava i njegovih pritoka kao i neke indiferentne vrste riba, pripadaju potamodromnim ribama selicama.

Oceanodrom – migracije koje se odvijaju samo u moru [2].

2.3. Ciljni organizmi, koncept ciljne vrste riba

Na veoma osjetljiv ekosistem vodotoka utiču brojni činioci: brzina riječnog toka, svojstva materijala na dnu (sastav i krupnoća), temperatura vode, sadržaj kiseonika, osvjetljenost toka, pH-faktor vode, erozija dna i obala. Primarni ciljni organizmi „staza za ribe“ na vodama (prirodne ili vještačke staze) su autohtone (domaće) vrste riba koje se nalaze u odgovarajućim regionima vodotoka odnosno regionima riba (sl.3).



Slika 3. Regioni riba i regioni vodotokova sa karakterističnim vodećim, specifičnim tipskim kao i pratećim vrstama riba [2]

3.4. Vrste migracija riba i njihovi ekološki esnafi

Migracije riba su u pravom smislu riječi aktivne i sasvim ciljane (namjenske) promjene „mjesta prebivališta“ riba. Pri tome možemo razlikovati slijedeće vrste migracije riba [2]:

- ▶ Migracije u cilju mriještenja (uglavnom uzvodno ili uzvodno sa bočnom (lateralnom) komponentom) uključujući povratne migracije,
- ▶ Migracije zbog potrage za hranom (nizvodno, uzvodno, lateralno),
- ▶ Migracije u cilju ponovnog uspostavljanja ravnoteže (balansa) i kompenzacione migracije (npr. nakon plutanja riba zbog poplava),
- ▶ Migracije riba u zimska stanovišta (zimске „lagere“)(obično nizvodno i lateralno),
- ▶ Kompenzacijske migracije i migracije ponovnog naseljavanja ribama (svi pravci),
- ▶ Migracije „bijega“ riba kao i migracije „izbjegavanja“ u slučaju pogoršanja uslova okoline (npr. u slučaju suše i/ili prekomjerne temperature vode u dublja područja, u hladnije pritoke ili područja isticanja podzemne vode, uglavnom nizvodno ili lateralno).

Riječne ribe porijeklom iz Bavarske s obzirom na njihovo ponašanje prilikom plivanja kao i njihove preferirane migracijske rute mogu se opisati na slijedeći način [2](slika 3):

Orijentisane na dno su one vrste riba koje se zadržavaju na dnu i kreću uglavnom na dnu vodotoka, često uz fizički kontakt s podlogom. Primjeri su male vrste riba kao što su peš, mali vretenar, brkica i krkuša.

Orijentisane blizu dna i prema obali su vrste riba koje se kreću i zadržavaju na tzv. „visini

hrapavosti“ (ca. 15 cm iznad dna vodotoka), u tekućem talasu u blizini dna vodotoka ili često u blizini obale. Primjeri: manić, mrena, klen, jez, deverika, som, šaran, štika kao i mlade ribe mnogih vrsta salmonida i reofilnih ciprinida.

Orijentisane na „slobodnu vodu“ su ribe koje preferiraju srednje vodeno tijelo tekućeg talasa ili površinska područja vodotoka kao mjesta za odmor i/ili plivanje. Tu spadaju: uklija, zrakoperka (dvoprugasta uklija), lipljen, crvenpera, skobalj, deverika, klenić i smudj kao i velike mrijestuće ribe velikih jakih plivaćućih vrsta salmonida i reofilnih ciprinida [2].

U zavisnosti od regije vodotoka / regije riba, kao i maksimalne brzine vodotoka na području suženja kod „staza za ribe“ grubo se mogu uzeti vrijednosti [2]:

- ▶ Ritral (regija pastrmki i lipljena): 1,5–2,2 m/s
- ▶ Potamal (regija mrena i deverika): 0,8–1,5 m/s.

Oblasti (regioni) riječnog vodotoka na osnovu srednjih vrijednosti temperature vode u najtoplijem mjesecu dijele se na (sl.3)[2]:

- ▶ Epiritral: ~ 10 °C
- ▶ Metarital: ~ 10 – 15 °C
- ▶ Hyporital: ~ 15 – 20 °C
- ▶ Epiritotal: ~ 20 °C
- ▶ Metapotamal: ~ 24 °C

Ekološki esnafi riba:

Ritrali su ljeti hladni, kamenito-šljunkoviti gornji dijelovi vodotoka. Prema podjeli vrsta riba u ekološke esnafe, *ritrali* se nazivaju one vrste riba koje naseljavaju regiju ritral (regija pastrmki i lipljena) ili se pak razmnožavaju u ritralnom području (pastrmke potočarke, lipljeni, mladice, manići)[2].

2.4. Barijere (prepreke) na vodotocima koje otežavaju i/ili onemogućavaju prohodnost organizama i migraciju riba

Nažalost upravo je rijeka Miljacka u Sarajevu jedan od negativnih primjera što se tiče barijera za uzvodnu migraciju riba i drugih riječnih organizama (sl.4).



Slika 4. Rijeka Miljacka u Sarajevu sa barijerama za uzvodnu migraciju riba i drugih riječnih organizama [3]

3.5. Primjeri za omogućavanje prohodnosti riba i drugih organizama renaturacijom rijeka

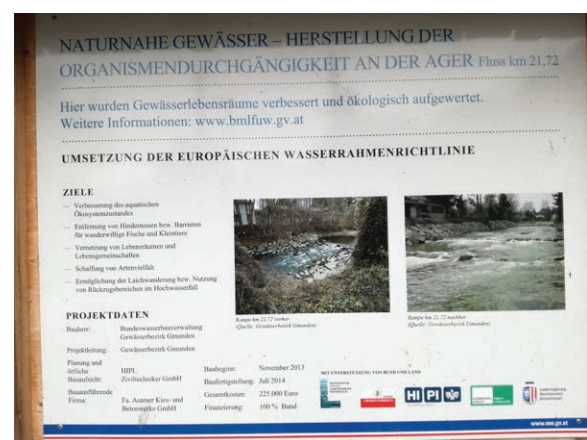
Na slikama 5 i 6 prikazan je jedan projekt omogućavanja prolaza riba i riječnih organizama renaturacijom na rijeci Ager km 21,72 u skladu sa primjenom Evropske okvirne direktive o vodama. Slika 5 s lijeve strane prikazuje status "prije", a s desne strane prikazuje status "nakon" sprovedenih hidro-građevinskih mjera.

Ciljevi ovog projekta su bili:

- ▶ poboljšanje stanja vodenog ekosistema,
- ▶ uklanjanje prepreka odnosno barijera za ribe i male životinje koje su spremne da migriraju,
- ▶ umrežavanje staništa i životnih zajednica,

- ▶ stvaranje biodiverziteta,
- ▶ omogućavanje migracije u svrhu mriještenja odnosno korištenja područja za povlačenje riba u slučaju poplava.

Ovaj projekat je započet u novembru 2012. godine, završen u julu 2014. godine a koštao je ukupno € 225.000. Trenutno stanje rijeke Ager nakon ove renaturacije prikazano je na sl.6.



Slika 5. Omogućavanje prohodnosti organizama na rijeci Ager km 21,72 [4]



Slika 6. Aktuelno stanje rijeke Ager nakon njene renaturacije [4]

Još jedan veoma dobar primjer „prirodnog“ hidrauličkog inženjeringa ili renaturacije rijeke u svrhu omogućavanja prolaznosti organizama može se vidjeti na slici 7: rijeka Vöckla koja teče kroz gradić Timelkam a koja je renaturisana u okviru projekta zaštite od

poplava. Gornja ivica armirano-betonskog zida s lijeve i desne strane rijeke jeste zadata projektna visina tzv. HK100 – nivo ove rijeke u Timelkamu prilikom poplave koja se dešava svakih 100 godina. Skraćenica „HQ“ jeste ustvari naučno-matematička skraćenica koja se sastoji od slova „H“ (njem. „hoch“= visoko) i parametra protoka vode „Q“.



Slika 7. „Naturalno“ uređena rijeka Vöckla u gradiću Timelkam [4]

„Naturalno“ izgradjene riblje staze ili riblje rampe strukturno se mogu podijeliti u tri različita tipa [2]:

- ▶ *ravni hrapavi žlijebovi (kanali)* sa ujednačenom, uglavnom homogenom hrapavošću (površina kanala se sastoji od položenog ili nasutog sloja kamenja i grube granulacije). Da bi se i pri niskom vodostaju održao dovoljno nizak migracioni koridor riba, preporučuje se upotreba asimetričnih poprečnih profila ili stepenastih profila sa bermom kao i kanal za uzvodno kretanje.
- ▶ *ravni hrapavi kanali (žlijebovi)* sa perturbacijama (perturbacije su postavljene prema tačno određenom rasporedu) za povećanje otpora protoka vode i povećanje dubine vode u migracionom koridoru. I ovdje se preporučuju asimetrični ili v-profilni sa koridorom sa niskim protokom vode.
- ▶ *hrapavi kanali s bazenima*, pri čemu se

postavljaju linijske manje-više odvojene ili po određenoj mustri popločane kamene forme (rešetkasto-rombovske strukture) i to primarno poprečno u odnosu na pravac vodotoka preko rampe koja se sastoji od kombinacije pragova (sa prelivima ili šlicevima) i udubljenja [2].

Na slijedećim slikama se vide odlični primjeri uklanjanja prepreka (barijera) za ribe i druge riječne organizme iz riječnih vodotokova a što bi mi bila zaista velika želja da se isto tako uradi i na Miljackoj, rijeci usrijed Sarajeva-Šehera grada. Zamislite samo kako bi to bilo predivno vidjeti ljude, mlade, stare, djecu i omladinu kako sa obala Miljacke ili sa njenih brojnih mostova uživaju gledajući veliku količinu raznih vrsta riba, račića i drugih organizama koji plivaju uzvodno i nizvodno kroz Miljacku!?



Slika 8. Ovako je izgledala brana (prepreka) na rijeci Alz bei Burgkirchen-a prije renaturizacije [2]



Slika 9. Renaturizacija (uklanjanje) brane na rijeci Alz bei Burgkirchen sa podijeljenim strukturama: hrapava staza sa bazenima i hrapava staza sa lomljenim kamenjem izmedju kojih se nalazi staza za prolaz kanua (kajaka), završena juna 2015 [2]

Još jedan veoma reprezentativan primjer uspješno uklonjenih barijera (pregrada) može se vidjeti na slikama 10, 11, 12 i 13: rijeka Auerbach. Neke barijere na ovoj rijeci imaju visinsku razliku od $> 0,30$ m (sl.10 – barijera skoro identična sa onim barijerama na Miljackoj u Sarajevu) i stoga su iznad maksimalne visine preko koje mogu uzvodno plivati slabije ribe. Na nekim mjestima kod ovih barijera je specifična snaga (turbulencija) vode toliko velika da male, slabije ribe nemaju nikakvu šansu da se izbore sa njom [2].



Slika 10. Neprohodna barijera na rijeci Auerbach: stanje prije renaturizacije [2]



Slika 11. Izgled rijeke Auerbach sa nekoliko renaturisanih barijera (prepreka) [2]



Slika 12. Izgled nekoliko renaturisanih barijera u gornjem toku rijeke Auerbach [2]



Slika 13. Renaturisana barijera na rijeci Auerbach: rampa od kamena odgovarajuće veličine [2]

Naravno, sve ove mjere renaturacije odnosno uklanjanja barijera (prepreka) na rijeci Miljackoj u Sarajevu u cilju razvijanja biodiverziteta flore i faune u njoj, nemaju nikakvog smisla ukoliko se **totalno** ne spriječe bilo kakva zagađivanja ove rijeke, kao npr. na slici 14.



Slika 14. Niko ne zna šta se dešava: Miljacka promijenila boju, u toku provjera, 17.09.2019 [5]

Iako od 1994 godine živim i radim u Austriji, odlično poznajem mentalitet našeg naroda u Bosni i Hercegovini, koji se skoro uopšte ne razlikuje od mentaliteta naroda Crne Gore u kojoj sam rođen ali i ostalih zemalja iz regiona. Ovim hoću reći da je jedan ovakav projekat potpunog oživljavanja biodiverzne flore i faune Miljacke sa APSOLUTNOM zabranom svih vrsta zagađivanja Miljacke izuzetno,

izuzetno zahtijevan ali on ipak nije nemoguć i nije „Mission impossible“! U Austriji postoji jedna veoma lijepa izreka „Wo der Wille ist, ist auch der Weg“ = „Tamo dje ima volje, ima i puta (načina)“.

Puno, puno godina prije nego što sam 1994 godine došao u Austriju, situacija u vezi zaštite životne okoline je bila slična sadašnjoj situaciji na našim prostorima. Kako su Austrijanci, Njemci, Švajcarci i ostali u Evropi postigli ovako visok nivo svijesti što se tiče zaštite životne okoline, i nije neka velika tajna. U samim počecima su i oni primjenjivali kazne za prekršioce mjera, kazne i samo kazne ali uz istovremenu edukaciju populacije o značaju zaštite životne okoline koja direktno utiče na život na našoj jednoj i jednoj planeti. Naravno da ovdje na „Zapadu“ ni sada nije sve 100% perfektno, to nije uostalom ni gdje u svijetu i svudje ima „izuzetaka“ i uvijek će biti takvih „negativaca“, ali generalna svijest stanovništva o zdravoj i očuvanoj životnoj okolini ovdje na „Zapadu“ jeste na veoma, veoma visokom nivou.

Ne bih sigurno „otkrio Ameriku“, ako bih stručnim, svjesnim i savjesnim ljudima koji se dolje bave ovom temom, preporučio da u cilju sprovođenja ovih mjera upotrijebe istu „taktiku“ kao što su davno to radili ljudi ovdje: kazne i to DRASTIČNE, ŽESTOKE novčane kazne kao i kazne zatvora za sve prekršioce i one koji zagadjuju životnu okolinu a time i rijeku Miljacku, tako da im drugi put zasigurno više ne bi palo napamet to da urade! Da bi se sve to sprovelo, uz naravno paralelnu edukaciju stanovništva preko svih mogućih medija kao i „live“ prezentacija na licu mjesta, po mom mišljenju bi na našim prostorima bilo potrebno formirati neku vrstu „TASK FORCE“, specijalne ekipe stručnjaka raznih profila, koji bi bili „nesalomivi“ i „nepodmitljivi“ poput Eliota Nessa i njegovog tima iz stare, izuzetno popularne TV-serije „NESALOMIVI“ („The Untouchables“) i koji bi **do kraja** spovodili

i kontrolisali sve mjere u vezi toga uključujući planiranje, projektovanje, izgradnju, nadzor, najstrožije sprovođenje i kontrolu sudskih i policijskih organa u vezi hapšenja, kažnjavanja i odležavanja kazne prekršioaca. Po mom skromnom mišljenju, jedino bi to maksimalno urodilo plodom razvijanja svijesti o zaštiti životne okoline na prostorima bivših YU-država, naravno kao što sam već naglasio, uz paralelnu edukaciju stanovništva.

3. Mjere poboljšanja strukture na vodotokovima

3.1. „Iskrivljenje“ vodotoka na rijekama

Preporuke za projektovanje područja „zakrivljenja“ vodotoka s ciljem povećanja botaničke raznovrsnosti specifične za tip i razvoj inundacije rijeka.

Definicija: Kod „zakrivljenja“ tokova rijeka radi se o mjerama za poboljšanje strukture vodotokova. Pri tome se kod pravolinijskih vodotokova projektuju zakrivljenja tako što se pravolinijski vodotok „pomjeri“ na stranu za 1-struku do 3-struku ili maksimalno 4-struku širinu korita i to na dužini od 4-struke do 10-struke širine vodotoka (sl.15).

U zavisnosti od nagiba rječnog dna, „zakrivljenja“ vodotoka mogu se projektovati u serijama. Uslijed povećanja hrapavosti dna, za određene situacije može doći do efekta tzv. „povratne vode“; ukoliko je nagib dna rijeke veći onda rastojanja između „zakrivljenja“ toka mogu biti manja [6].

Prednost „zakrivljenja“ vodotoka leži (1) u manjem trošku tj. koštanju i manjoj potrebi za površinom sa strane vodotoka kao i boljoj kontroli sopstvenog dinamičkog razvoja vodotoka i (2) značajno boljoj morfološkoj i ekološkoj efikasnosti u poredjenju sa

instream-mjerama (mjerama manjeg obima) [6].



Slika 15. Snimak iz vazduha (DOP) tri novoizgradjena „zakrivljenja“ na rijeci Stör, od čega je jedno „duplo zakrivljenje“ [6]

Na slici 16 dolje, na lijevoj strani slike vidi se strma obala svijetlo-braun boje na čijem je obodu nekadašnja meandrirajuća (krivudava) rijeka imala uporište (prolok); ta strma obala zabilježena je na pruskom državnom premjeru iz 1872 godine (tada dugačkom ca. 65 m). Trenutno morfodinamičko stanje razvoja vodotoka vidi se na toj slici [6].

Renaturalizacija vodenih tokova ima veoma pozitivan uticaj na podvodni i priobalni biljni i životinjski svijet, jer povećanje raznovrsnosti morfoloških i hidrauličkih uslova vodi povećanju biološke raznovrsnosti.

3.2. Preporuke za projektovanje područja „zakrivljenja“ vodotoka

Na osnovu istraživanja sprovedenih na 15 površina sa „zakrivljenjima“ vodotoka, mogu se dati slijedeće preporuke za uređenje površina vodotoka [6]:

- ▶ Veličine površine, visine terena i u datom slučaju forme tj. oblici (strana okrenuta vjetru, strana okrenuta od vjetra/zavjetrina, sredina) serijskih površina „zakrivljenja“ vodotoka, osobito se razlikuju.

Cilj: na ovaj način se postiže veliki biodiverzitet u riječnoj dolini kao i u samom vodotoku.

- ▶ niska visina terena pogodna je za razvoj vegetacije mekog drveta tipične za inundaciju, njem. naziv *Weichholzaue* (lat. *Salicetum albae* = Salici-Populetum)(sl.16). Cilj: na ovaj način se pomaže razvoj vegetacije tipične za inundaciju.



Slika 16. Dva „zakrivljenja“ vodotoka rijeke Stör sedam godina nakon sprovedenih mjera renaturizacije sa vegetacijom tipičnom za inundaciju i udubljenja ispunjena vodom [6]

- ▶ Mikroreljef na površini „zakrivljenog“ vodotoka može povećati raznovrsnost vegetacije na poplavljenim i vlažnim površinama i on blagotvorno utiče na razvoj vegetacije tipične za inundaciju.

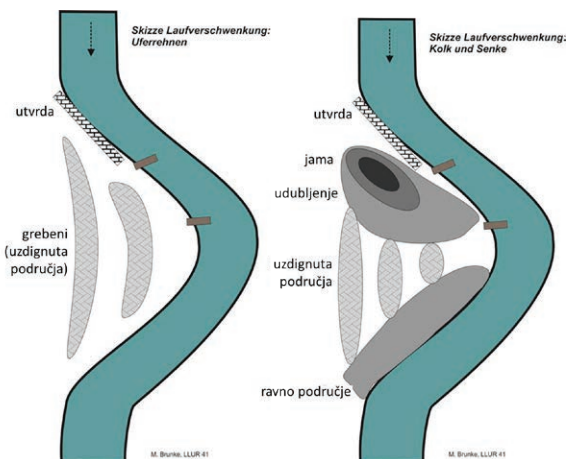
Cilj: na ovaj način se povećava heterogenost na pojedinačnim površinama a plavljenjem i podzemnim vodama se obezbjeđuje nastanak areala sa dosta vlažnih površina.

- ▶ Ukoliko je moguće, treba napraviti što veće površine. Cilj: bolje uspostavljanje visoke morfodinamike u kanalu i na površini kao i formiranje mikroreljefa koji se kreira na površini većoj od dvostruke širine kanala (vidi sl.17a „grebeni obale“).

- ▶ U najgornjem dijelu područja, nizvodno od utvrde (ojačanja) na krivini vodotoka, mogu se kreirati prelivne jame koje imaju blagotvoran efekat na razvoj vegetacije tipične za inundaciju i koje povećavaju diverzitet akvatičkih habitata (stanovišta) (sl.17b). Cilj: na ovaj način se morfodinamički procesi mogu trajno održavati u pojedinačnim dijelovima posmatranih površina (vidi sl.17b „potopljene jame i udubljenja“).
- ▶ U donjem dijelu „zakrivljenja“ vodenog toka površine mogu ostati ravne. Cilj: formiranje bočnih obala kao promocije stanovišta za vegetaciju tipičnu za inundaciju: pionirske biljke i vrste trske tipične za aluvijalne ravnice koje su prilagodjene mirnim obalnim zonama (vidi sl.17b „potopljene jame i udubljenja“).
- ▶ Inicijalni, moderatni zasadi grmlja tipičnog za inundaciju. Cilj: razvoj mekog drveta (njem. *Weichholzaue*) se na ovaj način pospiješuje i time smanjuje konkurencija ili neželjena dominacija nitrofilnih vrsta biljaka (npr. *koprive/žare*). Osim toga mogu se zasaditi i rijedje vrste drveta kao što su bijeli brijest (*lat. ulmus laevis*) ili pak druge vrste drveća koje nedostaju u području dotične riječne doline.

Definicija grebena (njem. Rehne): obalski greben je nasip (nanos) koji se sastoji od finih dijelova koje je nanijelo vodeno tijelo a nalazi se u blizini obale tj. pored kosine korita rijeke.

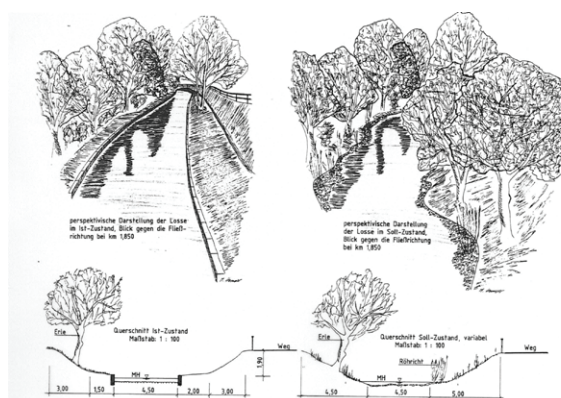
U mirnim i ravnim zonama vodotoka, pogotovo u zavjetrini, dolazi do taloženja sitnih čestica materijala nanosa koji je idealno mjesto za dalji rast vegetacije.



Slika 17. Dvije principijelne skice za oblikovanje mikroreljefa na površini „zakrivljenja“ vodotoka sa grebenima i udubljenjima: (sl.17a) sa grebenima (sl.17b) sa erozionim jamama i udubljenjima [6]

3.3. Renaturacija rijeke Losse u gradskoj četvrti Kassel-Bettenhausen

Na slikama 18, 19, 20 i 21 prikazan je vodotok „tipa 5“: „silikatni planinski potok, srednjeg dijela vodotoka bogat krupnim materijalom“ koji je izuzetno lijepo renaturiran na rijeci Losse u Kassel-Bettenhausen-u [7].



Slika 18. Prijedlog za sprovođenje mjera renaturizacije za dionicu rijeke Losse između Miramstraße i Dorfplatz u mjestu Kassel-Bettenhausen (Schmidt und Tönsmann 1995) [7]



Slika 19. (Pravolinijsko) korito rijeke Losse/
Miramstraße – prije renaturizacije oktobra 2004 [7]



Slika 20. Rijeka Losse/Miramstraße – neposredno
nakon hidrotehničko-gradjevinskih mjera, novembra
2004 [7]



Slika 21. Rijeka Losse/Miramstraße – godinu dana
nakon završene renaturizacije, septembra 2005 [7]

LITERATURA

- [1] H. Patt, P. Jürging, W. Kraus, Naturnaher Wasserbau, Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern, 4., aktualisierte Auflage, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
- [2] K. Seifert, Fischaufstiegsanlagen in Bayern, Praxishandbuch, Hinweise und Empfehlungen zu Planung, Bau und Betrieb, BNGF GmbH - Büro für Naturschutz-, Gewässer- und Fischereifragen im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU), 2. überarbeitete Auflage
- [3] Wikipedia: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2a/Sarajevo_Miljacka_02.jpg Download 14.03.2022
- [4] K. Hrapović, Fotos Privatarhiv
- [5] <https://radiosarajevo.ba/vijesti/lokalne-teme/niko-ne-zna-sta-se-desava-miljacka-poprimila-crnu-boju/351157>
- [6] M. Brunke, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR), Gewässerökologische Empfehlungen für die Renaturierung von Flussauen, Flintbek, 2017
- [7] T. Schmidt, WAGU GmbH Kassel, Gewässerrenaturierung heute – Standortbestimmung aus der Sicht eines Planers, 11. Erfurter Gespräche zur WRRL, 2013

Ekotoni kao osjetljivi pokazatelji promjena u okolišu

/

Ecotones as sensitive indicator of changes in the environment

Ana Buljubašić

Sveučilište u Mostaru
Fakultet prirodoslovno –matematičkih i odgojnih znanosti
Matice hrvatske bb, 88 000 Mostar, Bosna i Hercegovina

Svjetlana Stanić- Koštroman

Sveučilište u Mostaru
Fakultet prirodoslovno –matematičkih i odgojnih znanosti
Matice hrvatske bb, 88 000 Mostar, Bosna i Hercegovina

Nevenko Herceg

Sveučilište u Mostaru
Fakultet prirodoslovno –matematičkih i odgojnih znanosti
Matice hrvatske bb, 88 000 Mostar, Bosna i Hercegovina

Valentina Bevanda

Sveučilište u Mostaru
Fakultet prirodoslovno –matematičkih i odgojnih znanosti
Matice hrvatske bb, 88 000 Mostar, Bosna i Hercegovina

Sve očitije promjene u ekosustavima zahtijevaju veću angažiranost na svim razinama, kako bi se zajedničkim naporima doprinijelo kvalitetnijoj zaštiti prirode i okoliša. Brojna istraživanja ukazuju da su danas sve sastavnice okoliša: voda, tlo i zrak izloženi različitim antropogenim pritiscima, a kako su njihovi ekosustavi u međusobnoj ovisnosti, onečišćenja jednog medija neminovno uvjetuju promjene u drugom. Zbog svog smještaja, kontaktne zone (ekotoni) zapravo predstavljaju granična područja s izraženim naglim promjenama abiotičkih i biotičkih čimbenika okoliša na relativno malom prostoru, a čiji gradijent ovisi o jačini međusobne povezanosti između susjednih, stabilnijih ekoloških sustava. Na prirodne ili antropogeno inducirane promjene u okolišu osobito su osjetljive kontaktne zone između vodenih i kopnenih ekosustava, a ekotoni voda i tla mogli bi biti značajni osjetljivi pokazatelji klimatskih promjena. Upravo ekotoni trebali bi dati odgovor kako učinkovito pristupiti integralnoj zaštiti sastavnica okoliša. U ovom radu razmatraju se mogućnosti primjene rezultata istraživanja ekotona slivnog područja rijeke Lištice u integralnoj zaštiti vodenih resursa krškog područja.

Ključne riječi

Ekoton, voda, tlo, okoliš, pritisci, ekosustav

Increasingly obvious changes in ecosystems require greater engagement at all levels, in order to contribute to better protection of nature and the environment through joint efforts. Many studies indicate that today all components of the environment: water, soil and air are exposed to different anthropogenic pressures, and as their ecosystems are interdependent, pollution of one medium inevitably causes changes in another. Due to their location, contact zones (ecotones) are actually border areas with pronounced sudden changes in abiotic and biotic environmental factors in a relatively small area, whose gradient depends on the strength of interconnection between neighboring, more stable ecosystems. Contact zones between aquatic and terrestrial ecosystems are particularly sensitive to natural or anthropogenically induced changes in the environment, and water and soil ecotones could be significant sensitive indicators of climate change. It is ecotones that should provide the answer to how to effectively approach the integrated protection of environmental components. This paper discusses the possibilities of applying the results of the research of the ecotones of the Lištica river basin in the integrated protection of water resources of the karst area.

Key words

Ecotone, water, soil, environment, pressures, ecosystem

Sve očitije promjene u ekosustavima zahtijevaju veću angažiranost na svim razinama, kako bi se zajedničkim naporima doprinijelo u kvalitetnijoj zaštiti prirode i okoliša (Herceg, 2013). Brojna istraživanja ukazuju da su danas sve sastavnice okoliša: voda, tlo i zrak izloženi različitim antropogenim pritiscima, a kako su njihovi ekosustavi u međusobnoj ovisnosti, onečišćenja jednog medija neminovno uvjetuju promjene u drugom.

Kontaktne područja (ekotoni) definiraju se kao prijelazne zone dvaju susjednih ekoloških sustava, uska područja sa specifičnim strukturalnim i funkcionalnim značajkama, izložena diskontinuiranim promjenama okolišnih čimbenika u vremenu i prostoru (Wissmar & Swanson, 1990). Zbog svog smještaja, kontaktne zone zapravo predstavljaju granična područja sa izraženim naglim promjenama abiotičkih i biotičkih čimbenika okoliša na relativno malom prostoru, a čiji gradijent ovisi o jačini međusobne povezanosti između susjednih, stabilnijih ekoloških sustava (Naiman & Dépams, 1997; Wasson i sur., 2013). Uslijed jedinstvenih fizičkih i kemijskih značajki, koje uvjetuju specifičan protok tvari i energije te razvoj posebnih zajednica organizama koji ih nastanjuju, kontaktne zone iznimno su osjetljive na promjene okolišnih čimbenika te mogu poslužiti kao dobri indikatori klimatskih promjena (Wasson i sur., 2013). Na prirodne ili antropogeno inducirane promjene u okolišu osobito su osjetljive kontaktne zone između vodenih i kopnenih ekosustava (Naiman & Dépams, 1997).

Kopneni okoliš ima veliki utjecaj na funkcionalne značajke lotičkih ekosustava, zbog velike površine interakcija dvaju medija: vode i tla (Van der Velde i sur., 2008). U njihovim ekotonima izražene su trodimenzionalne prostorne interakcije (Pinay i sur., 1990):

- ▶ vertikalne – obuhvaćaju stupac vode, odnosno interakcije zrak-tlo-voda-sediment,
- ▶ longitudinalne – dodirne su zone različitih staništa i zajednica organizama duž longitudinalnog profila tekućice, od izvora ka donjem dijelu toka,
- ▶ transverzalne – interakcije su korita tekućice i obalne zone, odnosno obuhvaćaju prijelaznu zonu između vode i kopnenog područja.

1. Ekoton – tlo, sediment, voda

Pojam ekoton prvi puta je definiran početkom 20. stoljeća. Ekoton dolazi iz grčkog jezika, od korijena riječi: *oikos*, što znači dom, i *tonos*, što znači napetost.

Prvu definiciju ekotona dao je ekolog Federic Clements 1905., a ekoton je definirao kao zonu napetosti između dvaju biljnih zajednica ili većih staništa. Vodeći se njegovim spoznajama u narednih tridestak godina znanstvenici istražuju značaj ekotona i potvrđuju ekoton kao zonu napetosti, te uviđaju da je bogatstvo vrsta veće duž ekotona nego li u susjednim medijima. U periodu od 30-tih do 60-tih godina 20. stoljeća, znanstvenici su ekotone promatrani na tri izrazito različite prostorne skale. Prema Leopoldu iz 1933. i Shelford iz 1935. znanstvenici ekoton promatraju lokalno, Griggs iz 1938. prati granice drveća, dok je pozornost Weavera i Albertsona 1956. usmjerena na biom. Tek 1971. Obum ekoton definira kao prijelaznu zonu između različitih medija ili ekosustava (Brgić, 2012).

Upravo zbog fragmentiranosti skala do 90-ih godina urađena su malobrojna istraživanja vezana za ekoton (Lidiker, 1999). Wissmar & Swanson, 1990. kontaktna područja (ekotoni) definiraju se kao prijelazne zone dvaju susjednih ekoloških sustava, uska područja sa specifičnim strukturalnim i funkcionalnim značajkama, izložena diskontinuiranim promjenama okolišnih čimbenika u vremenu i prostoru. Zbog svog smještaja, kontaktne zone zapravo predstavljaju granična područja s izraženim naglim promjenama abiotičkih i biotičkih čimbenika okoliša na relativno malom prostoru, a čiji gradijent ovisi o jačini međusobne povezanosti između susjednih, stabilnijih ekoloških sustava (Naiman & Dépams, 1997; Wasson i sur., 2013). Uslijed jedinstvenih fizičkih i kemijskih značajki, koje uvjetuju specifičan protok tvari i energije te razvoj posebnih zajednica organizama koji

ih nastanjuju, kontaktne zone iznimno su osjetljive na promjene okolišnih čimbenika te mogu poslužiti kao dobri indikatori klimatskih promjena (Wasson i sur., 2013).

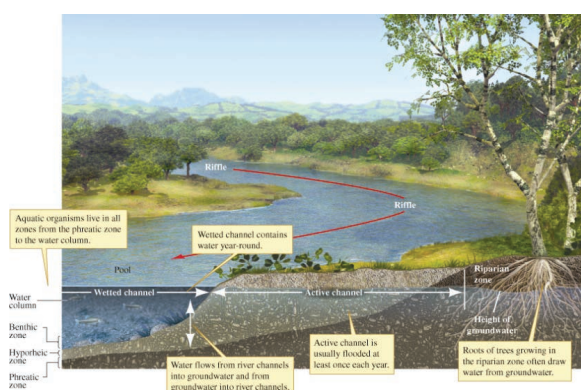
Okoliš je cjelina koju čovjek vidi kroz svoje specifično, antropogeno stajalište i koju čine okružujući mediji (atmosfera, voda, zemlja, geografsko mjesto, klima itd.) kao i svi drugi živi organizmi (biljni i životinjski) (Herceg, 2013).

Krajobraznu heterogenost komponenata i elemenata u okolišu jasno prepoznajemo, te prepoznavanje njihovih značajki pomaže u određivanju rubova ili prijelaza između komponenata (Gosz, 1991). Prijelazne zone između susjednih komponenti ili ekoloških sustava nazivamo ekotonom (Risser, 1995). Holland 1988, ekoton definira kao zonu prijelaza između susjednih ekoloških sustava, sa skupom karakteristika jedinstveno definiranih prostorno -vremenskim razmjerima i snagom interakcija između susjednih ekoloških sustava (Holland, 1988, prema Gosz, 1991). Ekotoni posjeduju resurse, kontroliraju protok energije i materijala, potencijalno su osjetljiva mjesta za interakcije između bioloških populacija i njihovih kontrolnih varijabli, imaju relativno visoku bioraznolikost, održavaju kritično stanište za rijetke i ugrožene vrste te su zonu napetosti u kojoj glavne vrste iz susjednih zajednica dosežu svoje granice (Hansen 1992, Holland 1991, Neiman 1988, Risser 1993, preko Neiman 1997, Clements 1905). Uloga ekotona i okolišnih granica sve se više prepoznaju kao važna funkcionalna jedinica u pejzažima modificiranim ljudima (Yarrow i Marin 2007). Još devedesetih godina znanstvenici su ukazali na to da bi važnu ulogu ekotoni mogli imati kao osjetljivi pokazatelji praćenja suvremenih i budućih, ubrzanih klimatskih promjena. (Risser 1995, Wasson i sur. 2013). Risser (1990) navodi kao značajan istraživački izazov za budućnost uključuje provjeru ideje o tome jesu li ekotoni ili karakteristike ekotona vrijedni kao

pokazatelji promjena u globalnom okruženju. Kako bi ekotoni služili kao osjetljivi pokazatelji klimatskih promjena, trebali bi pokazati visoku otpornost, stabilnost i brzo kretanje kao odgovor na promjene u okolišu (Noble 1993). Ekotoni između kopnenih i slatkovodnih ekosustava posebno su osjetljivi na promjene okoliša. (Malanson 1993, Naiman 1990, preko Naiman 2014.)

Prema istraživanjima (Noble, 1993) i (Wasson i sur. 2013) ekotoni močvarnih područja zadovoljavaju ove uvjete i služe kao vrijedni pokazatelji klimatskih promjena. Istraživanja (Marfo i sur. 2019) rađena na ekotonu tla također ukazuje na stres u zoni ekotona.

Kako bi utvrdili postoji li stres u zoni ekotona voda i tla slivnog područja rijeke Lištica uzrokovan antropogenim pritiskom potrebno je determinirati i istražiti potencijalne izvore onečišćenja na području grada Širokog Brijega. Kako bi se pravilno, sustavno i integralno pristupilo istraživanju potrebno je terminološki razgraničiti i poznavati sve oblike pritiska na tlo, sediment i vodu na osnovu čega će biti moguće predložiti metode istraživanja, način praćenja i mjere zaštite ovakvih područja.



Slika 1. Trodimenzionalni prikaz tekućica

2. Oštećenja i onečišćenja tla, sedimenta i vode

Svojim djelovanjem čovjek svakodnevno okoliš izlaže različitim izvorima onečišćenja i/ili zagađenja. Vrlo je važno terminološki razlikovati pojam onečišćenja koje predstavlja nepoželjne promjene stanja okoliša koje štetno djeluju na žive organizme, njihove uvjete života i kulturno-povijesne vrijednosti, dok je zagađenje onečišćenje većih razmjera, koje nastaje uslijed emisije štetnih tvari, opasnih tvari, energije ili drugih uzročnika u koncentracijama iznad dozvoljenih graničnih vrijednosti, čime se dovode u opasnost život i zdravlje ljudi te stanje okoliša (Herceg, 2013).

Uslijed nepostojanja ranijih sličnih istraživanja i lakše prezentacije stanja na terenu te interpretacije rezultate istraživanja u ovom radu za sve oblike narušavanja stanja okoliša korišten je pojam onečišćenje bez obzira na njegov oblik i intenzitet.

2.1. Oštećenja tla

Oštećenje tla je stanje tla nastalo kao posljedica smanjenja kakvoće tla ili gubitka njegovih funkcija, osobito ekoloških, koje se može manifestirati kao onečišćenje tla štetnim tvarima, erozija, premještanjem tla zahvatima, dehumifikacija, prekrivanje tla, zbijanje tla, smanjenje biološke raznolikosti tla i plodnosti, salinizacija i/ili alkalizacija i dr. (Herceg, 2013).

Polazišno pitanje za istraživanja tla i objektivnu volarizaciju i rangiranje opasnosti od degradacijskih procesa jeste klasifikacija oštećenja tla. Jedinствена klasifikacija tla na međunarodnoj razini ne postoji, osim prijedloga (Rasulović, 1978). S obzirom na ogromne razlike u geografskim i klimatskim obilježjima pojedinih lokacija tala, njihovim tipovima, načinima korištenja, vrstama dominantnih procesa koji uzrokuju njihova oštećenja

prilagođava se i klasifikacija. Kada se govori o klasifikaciji tala kod nas, onda se koristi klasifikacija prema F. Bašiću (1994). Klasifikacija prema Bašiću utemeljena je na sljedećim klasifikacijskim jedinicama:

Stupanj oštećenja – je najviša jedinica klasifikacije. Osnovni kriterij za razvrstavanje je obnovljivost oštećenog tla tj. mogućnost da se odgovarajućim zahvatima postigne stanje koje odgovara prirodnim značajkama tipa tla na danom području.

Vrsta oštećenja – označava uzroke odnosno podrijetlo oštećenja (npr. degradacija tla u intenzivnoj biljnoj proizvodnji, zagađenje i/ili onečišćenje tla, premještanje ili translokacija i prenamjena tla).

Procesi oštećenja – upućuje na uzročnika tj. na proces (pojedinačni ili skupni) koji je posljedica vrste onečišćenja.

Posljedice – su raznovrsne i nespecifične pa ih nije lako niti jednostavno identificirati. Za identifikaciju posljedice potrebno je raspolagati odgovarajućim podacima (Bašić, 1994).

2.2. Onečišćenje tla

Onečišćenje tla kao oblik oštećenja tla dijeli se na dvije razine: degradaciju i destrukciju tla. Degradacija tla nastaje unošenjem otrovnih supstanci prilikom gnojenja i zaštite bilja, te uslijed poremećaja strukture tla i erozije. Destrukcija predstavlja teže oštećenje tla koje nastaje pod utjecajem otapanih voda čvrstih otpada (PET, PVC) (Herceg, 2013). Onečišćenim tlima smatramo ona tla u kojima se nalaze tvari koje su strane normalnom prirodnom, kemijskom, fizikalnom i biološkom sastavu tla, što ima neželjene posljedice po sve što živi na ili u tlima, po ekosustav u cjelini, a pojedinačno po zdravlje čovjeka kao i po gospodarstvo.

Onečišćenje tla može biti lokalno i globalno. Lokalno onečišćenje tala vezano je s jedne strane za gradove i veća industrijska područja, a s druge strane na poljoprivredna područja koja su u novije vrijeme sve veći problem. Globalno onečišćenje tala vezano je često uz druge izvore onečišćenja. Tla se onečišćuju oborinama, dakle iz atmosfere, ili dotokom različitih tvari iz onečišćenih vodotokova.

Izvori onečišćenja tla

Glavni izvori onečišćenja tala mogu biti prirodnog i antropogenog podrijetla.

Prirodni izvori onečišćenja tla su kiše, poplave, požari, suše, vulkanska aktivnost oni svojim djelovanjem mijenjaju kompoziciju tla. Šire razmjere ima onečišćenje vulkanskom aktivnošću. Vulkani tijekom erupcije izbacuju magmu koja prekriva površinu tala. Osim toga nastaju goleme količine pepela koji mijenjaju sastav tla. Brojni plinovi oslobođeni tijekom erupcije u atmosferu mijenjaju sastav zraka, plinovi otopljeni u vodi zakisele padaline te tako mijenjaju sastav i reakciju tla. U tlu kiseline započinju svoje štetno djelovanje. Kisela kiša prije svega štetno djeluje na oskudne brdske predjele, jer kiselina otapa hranjive tvari, kao npr. kalcij iz tankog sloja humusa, pa stabla ostaju bez kalcija koji im je prijeko potreban za izgradnju njihovih stanica. Kiseline izravno oštećuju korijenje stabala ili vodom dospijevaju u lišće ili iglice drveća, te oštećuju njihova tkiva. Posljedica su mrlje smečkaste boje. Također otapaju teške metale i aluminij u tlu. Povećanjem kiselosti tla, to znači povećanjem količine H⁺ iona, se iz tla ispiru važne mineralne tvari kao što su magnezij, kalij, kalcij, itd. Tako dolazi do drastičnog smanjenja pH vrijednosti. Prirodni izvori onečišćenja tala jesu i požari, poplave, dugotrajne obilne kiše i suše.

Najčešći antropogeni uzročnici onečišćenja tala jesu: poljoprivreda (erozija vodom i vjetrom,

melioracije, monokulture, umjetna gnojiva, pesticidi, zbijanje tla mehanizacijom, smanjenje biomase i dr.); iskorištavanje šuma (erozija, smanjenje kapaciteta tla za vodu i dr.); urbanizacija (gubitak tla zbog rasta gradova i infrastrukture, odlaganje otpada, zbijanje tla, transport i dr.); industrija (onečišćenje tla oborinama, odlaganje otpada i dr.); rudarstvo (uklanjanje tla zbog površinskih kopova, snižavanje razine podzemne vode uslijed podzemnih kopova i dr.); ratna razaranja (požari, defolijanti, osiromašeni uran, rasipanje olova i drugih toksičnih kovina iz streljiva, nuklearno oružje i dr.) i sl. (Herceg, 2013).

Dalje razlikujemo onečišćenje tla koje je uzrokovano jasno ograničenim izvorima (lokalni ili točkasti izvori onečišćenja) i ono koje je uzrokovano difuznim izvorima. Onečišćenje tla koje je uzrokovano lokalnim (ili točkastim) izvorima uglavnom je povezano s rudarstvom, industrijskim postrojenjima, odlagalištima otpada i ostalim postrojenjima ili djelatnostima tijekom i nakon prestanka njihova djelovanja. Ta postrojenja ili djelatnosti predstavljaju rizik i za tlo i za vodu. Difuzno onečišćenje uglavnom se povezuje s atmosferskim taloženjem, određenim poljodjelskim radovima i urbanim područjima.

Postoje dvije glavne skupine onečišćenih tala koje se klasificiraju kao difuzno raspršeno onečišćenje:

- ▶ Onečišćenje koje je posljedica poljoprivredne aktivnosti i šumarstva, krajobrazne arhitekture, vrtova i parkova, urbane sredine, gdje se ekološki sastav tla mijenja unosom nutrijenata, pesticida i egzogene organske tvari (stajsko gnojivo, kompost, gradski mulj) kako bi se povećala produktivnost ili zaštitilo sadašnje stanje tla.
- ▶ Onečišćenje koje u tlo ulazi prirodnim putovima, kao što je atmosfersko

taloženje i taloženje iz površinskih voda (sedimenti).

Zajednička karakteristika ove dvije skupine tala difuznih izvora onečišćenja je nemogućnost izbjegavanja unosa onečišćujućih tvari za razliku od tala onečišćenih lokalnim izvorima gdje ona služe samo kao podloga za ljudsku aktivnost (Kučar Dragičević, S., 2008).

2.3. Onečišćenje vodenog okoliša

Stanje voda određeno je na razini vodnih tijela, ona predstavljaju osnovne jedinice za analizu i upravljanje stanjem voda. Određivanje vodnih tijela počinje analizom prirodnih značajki voda, na temelju kojih se ukupnost voda na nekom području dijeli na jasno određene, prirodno približno homogene elemente. Podloga za izdvajanje tijela površinskih voda je njihova tipologija, utemeljena na povezanosti prirodnih bioloških zajednica i relevantnih abiotičkih značajki površinskih voda (Voda.hr, 2021). Vodno tijelo tekućica posjeduje longitudinalnu, vertikalnu i lateralnu dimenziju što ukazuje na neodjeljivost vode i okolnih medija. Na osnovu toga onečišćenja koja se događaju u vodi i sediment promatraju se kao onečišćenje vodenog okoliša.

Voda je životno važan resurs o kojem ovise sve ljudske aktivnosti, ali i održanje biogeokemijskih ciklusa i ravnoteža na našem planetu. Danas, u epohi koju mnogi s razlogom nazivaju antropocen, ukazujući time na izraziti utjecaj ljudskih aktivnosti na ekosustave, voda je izložena sve većim pritiscima (Herceg i sur., 2018). Zbog povećanja broja stanovništva, industrijalizacije i urbanizacije sve je veća opterećenost kopnenih voda, a vodeni ekosustavi su među najugroženijim na svijetu (Dudgeon i sur. 2006).

Onečišćenje vode predstavlja izravno ili neizravno unošenje, izazvano ljudskom aktivnošću, tvari ili topline u vodu, što može

biti štetno za ljudsko zdravlje ili kvalitetu vodnih ekosustava ili kopnenih ekosustava izravno ovisnih o vodnim ekosustavima, koje dovodi do štete po materijalnu imovinu, šteti vrijednostima okoliša ili drugim legitimnim oblicima korištenja okoliša ili na njih utječe (ODV, 2000/60).

Zbog svojih specifičnosti, kao što su tanak pokrov, koncentrirana infiltracija, ponori te koncentriranje toka u epikrškoj i vadoznoj zoni, krški vodonosnici su poznati po svojoj osjetljivosti na onečišćenje (Vias i sur., 2006). Zbog svoje reaktivnosti, tlo i sediment predstavljaju značajan čimbenik u zadržavanju i usporavanju potencijalnog onečišćenja na njegovom putu prema vodi.

Glavni izvori onečišćenja krških voda su otpadne vode iz kućanstava i industrije, odlagališta otpada, prometnice i poljoprivredne aktivnosti. Kako ne bi došlo do zagađivanja dragocjenih izvora pitke vode i njenog prekomjernog crpljenja, vodu je potrebno zaštititi i planski iskorištavati. Gospodarenje i zaštita podzemnih voda i površinskih tokova od negativnih utjecaja i aktivnosti u BiH regulirano je Zakonom o vodama. Zagađenje podzemnih voda gotovo je nemoguće izbjeći, a najveće je tamo gdje su i potrebe za vodom najveće (Almeida i sur., 1995).

Izvori onečišćenja vodenog okoliša

Onečišćenja koje iz okoliša dopijevaju u vodu mogu potjecati iz različitih izvora. Zbog prirodnog ciklusa kruženja vode u prirodi i svojstva vode da otapa tvari vrlo često, osim onečišćenja emitiranih izravno u vodu, u vodu dopijevaju i onečišćenja koja se emitirana u zrak ili u tlo.

Izvori onečišćenja voda vrlo često dijele se na prirodne (izavane prirodnim pojavama) pješčane oluje, vulkanske erupcije šumski požari, močvare, kozmička prašina, mineralni

i termalni izvori i umjetne (izazvane antropogenim pritiskom) eksploatacija sirovina, promet, poljoprivreda, deponije otpada, energetika itd.

Umjetni izvori onečišćenja mogu se podijeliti na aktivne (oni koji sigurno emitiraju onečišćenje) i potencijalne. Aktivni izvori onečišćenja mogu biti stalni i povremeni.

Stalni ili kontinuirani izvori emitiraju onečišćenje neprestano i na njih većinom ne utječu prevladavajući hidrološki uvjeti. Dijele se na: 1. Raspršene ili difuzne izvore (poljoprivredna aktivnost na navodnjavanjem površinama) i 2. Točkaste izvore (industrijski efluenti, uređaji za pročišćavanje otpadnih voda, drenažne rudničke vode, riblje farme, septičke jame) (Herceg, 2013).

Povremeni izvori emitiraju onečišćenja ovisno o prevladavajućim hidrološkim uvjetima, a naročito su izrađeni u vrijeme jakih i intenzivnih oborina. Također se dijele na: 1. Difuzne (poljoprivredna aktivnost, sustavi odvodnje oborinskih otpadnih voda, pošumljavanje) i 2. Točkaste (lokacije istjecanja oborinskih otpadnih voda, odlagališta jalovine u otvorenim površinskim kopovima, odlagališta stajskog gnojiva i ostalog otpadnog materijala s farmi) (Herceg, 2013).

3. Onečišćujuće tvari u tlu, sedimentu i vodi

3.1. Onečišćujuće tvari u tlu

Ako izuzmemo onečišćenje tla izazvano unošenjem bioloških organizama ili energije u tlo, onečišćujuće tvari u tlu možemo svrstati u nekoliko skupina. Sve onečišćujuće tvari koje dopijaju u tlo bez obzira dolaze li iz točkastih, raspršenih ili difuznih izvora i dali su organskog ili anorganskog porijekla, s obzirom na njihove fizikalno kemijske karakteristike

možemo svrstati u:

- Hlapljive organske tvari- mogu potjecati s odlagališta, industrijskih postrojenja, poljoprivrednih površina, rafinerija nafte, rudnika i sl.
- Polu hlapljive organske tvari- obično se nalaze u emisijama zajedno s hlapljivim organskim tvarima, ali se mogu javljati i samostalno najčešće u emisijama gdje se primjenjuju agrokemikalije i sl.
- Pogonska goriva- lokacije na kojima tlo može biti onečišćeno pogonskim gorivima se zračne luke, autobusni i željeznički kolodvori, parkirališta, prostori uz autoceste, benzinske postaje, ali i poljoprivredne površine, te dr.
- Anorganske tvari- poput metala i njihovih spojeva mogu se naći u područjima odlagališta, industrijskih postrojenja, rudnik, itd.

3.2. Onečišćujuće tvari u sediment i vodi

Znanstvene spoznaje o djelovanju i učincima onečišćujućih tvari u vodi posljednjih godina značajno su se razvile te postoji više saznanja i problematika voda počinju se promatrati kroz prizmu vodenog okoliša (voda, sediment, biota). Onečišćujuće tvari u vodenom okolišu promatraju se kao najvjerojatnije prisutne, tj. relevantnim se uzimaju u dijelu vodenog okoliša u kojem su mjerljive. Neke izrazito hidrofobne tvari nakupljaju se u bioti ili sediment, teško ih je otkriti u vodi (Bujs i sur. 2013).

Onečišćenja vodenog okoliša mogu biti kemijskog, mikrobiološkog ili fizikalnog porijekla.

Kemijska i radiološka onečišćenja mogu biti uzrokovana prirodnim sastojcima stijena, ali i ljudskom aktivnošću. Površinske i podzemne vode mogu sadržavati razne toksične

organske spojeve (derivati nafte, pesticidi, nitrati i dr.) i anorganske tvari (Al, Pb, Cr, Hg, Cu, Cm i dr.), čija prisutnost vodu čini neupotreblijvom za piće. Vrlo opasne i kancerogene tvari su gusti organski spojevi koji se ne miješaju s vodom (engl. *Dense Non Aqueous Phase Liquid - DNAPL*). U njih spadaju: katrani, industrijska otapala, industrijske otpadne tvari, poliklorirani bifenili PCB, ulja i neki pesticidi u nerazrijeđenom stanju. Radiološko onečišćenje može biti posljedica prisutnosti radioaktivnih supstanci u stijenama, ali je češći razlog neprikladno odlaganje otpada iz nuklearnih centrala, bolnica kao i nuklearne eksplozije (Herceg, 2013).

Mikrobiološko onečišćenje vode sastoji se u prisutnosti patogenih bakterija, virusa ili drugih mikroorganizama koji mogu ugroziti ljudsko zdravlje. Ti mikroorganizmi najčešće dospjevaju u površinske vode otpadnim vodama iz naselja, a u podzemnu vodu iz propusne ili oštećene kanalizacije ili loše izvedenih "septičkih jama". Najveći dio mikroorganizama se u površinskim vodama zadržava i prenosi na veće udaljenosti, a u podzemnim vodama se zbog filtracije kroz porozne stijene, zadržava samo relativno blizu izvora onečišćenja. No bez obzira na to, u sustavima javne vodoopskrbe preventivno se primjenjuje dezinfekcija vode kloriranjem, ultraljubičastim svjetlom ili ozoniranjem (Mayer, 2004).

Fizičko onečišćenje manifestira se kao povećanje temperature vode, pojava mutnoće vode, promjena boje vode, mirisa i okusa vode. Povećanje temperature vode najčešće je posljedica ispuštanja rashladnih voda iz industrijskih (željezare, rafinerije nafte, tvornice celuloze i papira i dr.) i energetskih objekata (termoelektrane i nuklearne elektrane) u površinske vode bez prethodnog hlađenja. Promjena temperature utječe na fizikalno-kemijska svojstva vode kao i na ekološke uvjete u vodnom sustavu (Tedeschi, 1997).

3.3. Teški metali u tlu sedimentu i vodi

Onečišćenost tla teškim metalima podrazumijeva stanje tla u kojemu sadržaj teških metala uzrokuje mjerljiv poremećaj neke od uloga tla. Ovo onečišćenje predstavlja središnji problem borbe za očuvanje tla od onečišćenja, jer izravno utječe na plodnost tla i zdravlja živih organizama.

Pod pojmom „Teški metali“ podrazumijevaju se samo elementi kojima je volumna gustoća veća od 5,0 g/cm³, ali je pojam proširen tako da obuhvaća i tvari koje se inače nazivaju „potencijalno toksični elementi“, a prema definiciji ne spadaju čak ni u metale.

Svi teški metali u osnovi potječu iz prirode. Način njihovog oslobađanja i dolaska u okoliš može biti geogenog i antropogenog porijekla. Geogeno oslobađanja teških metala, kada teški metali u tlo dospjevaju na prirodan način (matične stijene, vulkanske erupcije, morski aerosoli i šumski požari) ili je njihovo porijeklo u tlu vezano za vanjske faktore, najčešće pod utjecajem čovjeka (antropogeno i imisijsko). (Lasat, 2002).

Antropogeni izvori teških metala mogu biti brojni, a u tlo ulaze na različite načine:

- emisijom iz atmosfere (prašine industrijskog podrijetla i ispušnih plinova prometnih sredstava, iz svih sustava grijanja stanova i radni prostora i iz električnih termocentrala),
- iz stajskog gnoja (bakar i cink iz gnoja peradi i svinja, kao i gnojiva koja predstavljaju ostatke talionica kovina, npr. tomasovo brašno ili lignitna prašina kao humusno gnojivo),
- sredstvima za zaštitu bilja koja sadrže teške metale: bakar, olovo, živu, mangan i cink
- iz rudnika i rudničkih ostataka (jalovina),
- kompostom iz kore četinjača, koji se koristi za gnojidbu poljoprivrednih tala,
- korištenjem pepela od drva ili lignita, korištenjem gradskog otpada, kanalizacijskog mulja, mulja s dna rijeka, jezera i lučkih prostora za proizvodnju komposta koji se koristi za povrtnjake i lončanice,
- otpadnim vodama iz pogona za galvanizaciju, otjecanjem s hrpa industrijskog
- otpada, korištenjem onečišćenih voda ili otpadnih voda za natapanje, mineralnim gnojivima, koja sadrže mikroelemente, ili pak kompleksnim mineralnim gnojivima, koja sadrže kadmij iz sirovih fosfata.

Teški metali su biogeni elementi neophodni za osiguravanje normalnih vitalnih funkcija organizama. Zajednička je značajka teških metala njihovo praktički neograničeno nakupljanje u biosferi i vrlo tanka granica između neophodnosti i toksičnosti za organizme.

U hranidbeni lanac ulaze uglavnom preko korijena i lista biljke, a kako ih biljka iz tla prima u količini razmjernoj sadržaju u otopini tla, svaka biljka uzgojena na tlu s povećanim sadržajem teških kovina prima i sadrži teške metale u količini koja može ugroziti zdravlje konzumenta – domaće životinje i čovjeka. Poznajući štetnost teških metala i opasnost koja proistječe iz njihova ulaza u hranidbeni lanac, određene su granične vrijednosti ili maksimalno dopušteni sadržaj u tlu. Pristupačnost teških metala ovisi o različitim značajkama tla, napose o reakciji i kapacitetu adsorpcije, dakle teksturi i sadržaju humusa (Herceg, 2013).

Teški metali svrstavaju se u grupu najopasnijih anorganskih zagađujućih tvari zbog bionerazgradivosti i sklonosti bioakumulaciji i toksičnom efektu čak i pri niskim koncentra-

cijama. Stupanj onečišćenosti sedimenta razlikuje se u prirodnim i umjetnim vodotocima, istraživanja su pokazala kako je koncentracija teških metala višestruko veća u umjetnim vodotocima (kanalima) nego u prirodnim vodotocima (Ferrnato, i sur. 2013). Jednom kada teški metali uđu u vodni ekosustav, apsorbiraju ih suspendirane tvari i ultimativno su vezane za sediment. Prilikom narušavanja stanja sedimenta teški metali prelaze u vodu te uzrokuju promjene u ekosustavu (Hu i sur. 2017). Osim toga imaju sposobnost ugradnje u hranidbeni lanac (Sharma, 2015). Teški metali koje su otopljeni u vodi nalaze se u ionskom obliku te se ne mogu biološki razgraditi, ali se mogu i bioakumulirati. Ispuštanjem velikih količina teških metala u vodu stvara ozbiljne zdravstvene i ekološke problem (Inglezakis i sur. 2006). Teški metali u vodene ekosustave dolaze prirodnim ili antropogenim putem. Vrlo često u vodu dospijevaju prirodno otopljeni teški metali iz tla i sedimenta. Puno opasnija skupina teških metala su oni koji u vodu dospijevaju iz aerosola emitiranog u zrak ili ispuštanjem otpadnih voda. Teški metali koji se najčešće nalaze u otpadnim vodama uključuju arsen (As), olovo (Pb), živu (Hg), kadmij (Cd), krom (Cr), bakar (Cu) i nikal (Ni) (Inglezakis i sur. 2006).

Svjetska zdravstvena organizacija istaknula je deset kemikalija koje su velika prijetnja za javno zdravstvo, od kojih su četiri teški metali: živa, kadmij, olovo i arsen (EU agencija za okoliš, 2018).

4. Zaključak

Prometanje ekosustava tla, sedimenta i vode na razini ekotona preduvjet za uspostavljanje kvalitetnog i efikasnog upravljanja okolišem.

Istraživane tekućica na razini ekotona trebaju poslužiti kao modeli za procjenu antropogenih utjecaja na krške tekućice, takva istraživanja će poslužiti kao temelj za prijedlog mjera za

održivo upravljanje slivnim područjem. Kao bi se uspostavio ovakav model istraživanje treba obuhvatiti:

- ▶ Utvrđivanje sadržaja potencijalno opasnih onečišćenja u tlu, vodi i sedimentu;
- ▶ Određivanje ekološkog statusa tekućica na temelju abiotičkih, kemijskih i fizikalno-kemijskih značajki, te biotičkih pokazatelja, odnosno indikatorskih organizama;
- ▶ Određivanje mjera zaštite i preporuke za održivo korištenje prirodnih resursa u svrhu njihovog očuvanja i zaštite zdravlja ljudi.

Kako bi uspostavljale integralnog sustava zaštite okoliša na razini ekotona bilo moguće neminovno je donošenje propisanih graničnih vrijednosti za tlo, sediment i vodu prilagođenih karakterističnim uvjetima krša.

LITERATURA

- [1] Almeida, C., Bodić, B., Hertelendi, E., Hinić V., Morell, I., (1995): Pollutants and Pollutant Transport in Karst Areas, u COST action 65 Hydrogeological aspects of groundwater protection in karstic areas, Final report, Dir-General Science, Research and Development, 371-380.
- [2] Bujas, N., Antolić, J., Medić, Đ. (2013): Prijedlog europskog zakonodavstva o dopuni liste prioriternih i prioriternih opasnih tvari. Dostupno na: https://www.voda.hr/sites/default/files/pdf_clanka/hv_86_2013_328_bujas-et-al.pdf, datum posjete, 14.2.2022.
- [3] Brgić, A., (2012): Struktura zajednica trčaka (coleoptera, carabidae) ekotona šume bukve i jele i otvorenih staništa dinarida hrvatske, doktorski rad, Zagreb, str.6.
- [4] Clements, F.E. (1905): Research methods in ecology. University Publishing Company, Lincoln, Nebraska, USA.
- [5] Dudgeon D., Arthington A. H., Gessner M.

- O., Kawabata Z. I., Knowler D. J., Lévêque C., Naiman R. J., Prieur-Richard A.-H., Soto D., Stiasny M. L. J., Sullivan C. A. (2006): 38 Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81: 163-182.
- [6] EU agencija za okoliš, (2018.): Dostupno na: <https://www.eea.europa.eu/hr/articles/ziva-trajna-prijetnja-za-okolis.datum-pristupa:14.2.2021>.
- [7] Ferronato, C., Antisari, L. V., Modesto, M. M., Vianello, G. (2013): Speciation of heavy metals at water-sediment interface, Dostupno na: <https://eqa.unibo.it/article/view/3932.datum-pristupa:2.09.2021>.
- [8] Inglezakis, V. J., Pouloupoulos, S. G. (2006): Adsorption Ion Exchange and Catalysis, Elsevier, Amsterdam.
- [9] Lasat, M. M. (2002): Phitoextraction of toxic metals-A review of biological mechanisms, *Journal of Environmental Quality*, 31,109-120.
- [10] Leopold, A. (1933): Game management. Charles Scribner's Sons, New York.
- [11] Lidicker, W.Z., Peterson, J.A. (1999): Responses of small mammals to habitat edges. U: Barrett GW, PELES JD (ur) Landscape ecology of small mammals. Springer-Verlag, New York, 211-227.
- [12] Mayer, D. (2004): Voda od nastanka do upotrebe, Prosvjeta, Zagreb, ISBN 953-7130-09-6.
- [13] Griggs, R.F. (1938): Timberlines in the northern Rocky Mountains. *Ecology* 19: 548-564.
- [14] Gosz J.R. (1991): Fundamental Ecological Characteristics of Landscape Boundaries. In: Holland M.M., Risser P.G., Naiman R.J. (eds) Ecotones. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9686-8_2.
- [15] Herceg, N. (2013): Okoliš i održivi razvoj. Synopsis, Zagreb, 42-43, 101-123, 169, 668, 489-518 str.
- [16] Herceg N., Stanić-Koštroman S., Šiljeg M. (2018): Čovjek i okoliš, HAZU BiH, Sveučilište Sjever, Synopsis, Mostar-Koprivnica-Zagreb, 376-379 str.
- [17] Holland, M.M. (1988): SCOPE/MAB Technical consultations on landscape boundaries: report of a SCOPE/MAB workshop on ecotones. *Biology International, Special Issue 17*: 47-106.
- [18] Noble, I.R. (1993): A model of the responses of ecotones to climate change. *Ecol Appl* 3(3): 396-403.
- [19] Naiman, R. J., Décamps, H., (1997): The ecology of interfaces: riparian zones. University of Washington. *Annu. Rev. ecol. Syst.* 28: 621-658.
- [20] Kućar Dragičević, S. (2008): Izrada programa trajnog motrenja tala Hrvatske s pilot projektom, Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb str. 80.
- [21] Malanson, G. P. (1993): Riparian Land- scapes. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press.
- [22] Rasulović, H. (1978): Utjecaj tehnološkog procesa na proces oštećenja i potrošnje zemljišta, Zemljište i biljka, Beograd, str. 27
- [23] Risser, P.G. (1995): The status of the science examining ecotones—a dynamic aspect of landscape is the area of steep gradients between more homogeneous vegetation association. Risser PG, ed. 1993. Ecotones. *Ecol. Appl.* 3:369-445.
- [24] Shelford, V.E. (1913): Animal communities in temperate America. The University of Chicago Press, Chicago.
- [25] Van der Velde, G., Leuven, R. S. E. W., Nagelkerken, I. (2008): Fresh surface water: types of river ecosystems. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*.
- [26] Pinay, G., Décamps, Chauvet, E., Fustec, E. (1990): Functions of ecotones in fluvial systems. U: The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones (Eds: Naiman, R. J. & Décamps, H.), The Parthenon Publishing Group, New Jersey, 141-164.
- [27] Tedeschi, S. (1997): Zaštita voda, Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, Zagreb.
- [28] Wissmar, R. C., Swanson, F. J. (1990): Landscape disturbances and lotic ecotones. U: The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones (Eds: Naiman, R. J. & Décamps, H.), The Parthenon Publishing Group, New Jersey, 65-89.
- [29] Vías, J.M., Andreo, B., Perles, M.J., Carrasco, F., Vadillo, I. & Jiménez, P. (2006): Proposed method for groundwater vulnerability mapping

in carbonate (karstic) aquifers: the COP method.
Hydrogeology Journal, 14, 912-925.

- [30] Wasson, K., Woolfolk, A., Fresquez, C.,
(2013): Ecotones as indicators of changing
environmental conditions: rapid migration of salt
march-upland boundaries. Estuaries and Coasts.
36: 654-664
- [31] Weaver, J.E., Albertson, F.W. (1956): Grasslands
of the great plains: their nature and use.
Johnsen, Lincoln.
- [32] Yarrow, M.M., Marin, V.H. (2007): Toward
conceptual cohesive- ness: a historical analysis
of the theory and utility of ecological boundaries
and transition zones. Ecosystems 10: 462-476.

Potencijal prirodnog zeolita koji se koristi kao apsorber u prečišćavanju otpadnih voda u Srbiji

/

The potential of natural zeolite use as adsorbent in wastewater treatment in Serbia

Jovana Topalić Marković, M.Sc. in civil engineering

Faculty of Technical Sciences, Novi Sad
jovanatopalic90@uns.ac.rs

Tiana Milović, Ph.D. in civil engineering

Faculty of Technical Sciences, Novi Sad
tiana.milovic@uns.ac.rs

Vladimir Mučenski, Ph.D. in civil engineering

Faculty of Technical Sciences, Novi Sad
mucenskiv@uns.ac.rs

Mladenka Novaković, Ph.D. in environmental engineering

Faculty of Technical Sciences, Novi Sad
mladenkanovakovic@uns.ac.rs

Otpadne vode su stalni i neodvojivi faktor u ljudskim naseljima. Obično sadrže mnogo zagađivača kao što su kationi, anioni, ulje i organske materije koji imaju otrovne i toksične efekte na ekosisteme. Uklanjanje ovih zagađivača zahtijeva isplative tehnologije, a u proteklim decenijama razvijene su različite tehnike za tretman otpadnih voda. Trenutno se adsorpcija smatra jednostavnom i efikasnom tehnikom za prečišćavanje vode i otpadnih voda, dok uspjeh tehnike u velikoj mjeri zavisi od razvoja efikasnog adsorbenta. U ovom istraživanju postoji potreba da se ukaže na potencijal upotrebe prirodnog zeolita kao adsorbenta u tretmanu otpadnih voda u Srbiji. Visoka upijajuća i jonoizmjenjivačka sposobnost, dostupnost u Republici Srbiji i zemljama u okruženju, kao i niska cijena, glavne su prednosti korištenja prirodnog zeolita za navedenu namjenu.

Ključne riječi

Prirodni zeolit, otpadne vode, adsorbenti

Wastewater is a constant and inseparable factor in human settlements. It usually contains many pollutants such as cationic and anionic ions, oil, and organics, which have poisonous and toxic effects on ecosystems. Removal of these contaminants requires cost-effective technologies and a variety of techniques have been developed in the past decades in dealing with wastewater treatment. Currently, adsorption is considered to be a simple and effective technique for water and wastewater treatment, while the success of the technique largely depends on the development of an efficient adsorbent. This research needs to point out the potential of natural zeolite use as an adsorbent in wastewater treatment in Serbia. High absorbency and ion-exchange capacity, availability in the Republic of Serbia and neighboring countries, as well as low price, are the main advantages of using natural zeolite for the stated purpose.

Key words

Natural zeolite, wastewater, adsorbent

In every community, there is the production of both liquid and solid wastes as well as air emissions. The liquid waste (i.e. wastewater) is essentially the water supply of the community after it has been used in a variety of applications [1].

Hence, it is obvious that if there is no water – there is no settlement. If there is a settlement, there is wastewater. Wastewater is a constant and inseparable factor in human settlements [2]. The issue of protecting water from pollution is directly dependent on industrial and technological development, which results in the creation of legislative regulations in this area. It is obvious that wastewater treatment is imperative for each country and each country, depending on the level of development, population, and the amount of wastewater – has norms for wastewater treatment and the quality of the discharged water [3].

Due to the fast development of various industries, a huge quantity of wastewater has been produced from industrial processes. Parallel to urbanization and industrial development as well as the industrialization of agriculture and livestock breeding, there was an increase in the quantity and level of wastewater pollution. These processes make damage to watercourses and accumulations as well as land [4]. The complete ecosystem is endangered by untreated wastewater.

Wastewater treatment presents one of the most important factors in the program of wastewater management. The increasing operational costs and improving effluent quality with pollutant reduction represent the main goal of the work and management of the plant.

It can be concluded that the quality of wastewater in one settlement depends on the way of living and quality of life as well as the drainage and sewage system. Furthermore, the industry water has a significant impact on wastewater quality [4]. The quantity of wastewater and size of the plant depends on residents, their standard of life, industry development, and geographic conditions presented with the size of the catchment area.

Wastewater usually contains many pollutants such as cationic and anionic ions, oil, and organics, which have poisonous and toxic effects on ecosystems. Removal of these contaminants requires cost-effective technologies and a variety of techniques have been developed in the past decades in dealing with wastewater treatment. Currently, adsorption is believed to be a simple and effective technique for water and wastewater treatment while the success of the technique largely depends on the development of an efficient adsorbent [5].

The selection of methods for treating wastewater depends on the type of pollutant, the reapply of treated water, and the economic aspects [6]. Very often, successful wastewater treatment cannot be carried out only by one method of purification. Therefore, it is a combination of procedures and the most common combination of physical and chemical methods. The adsorption technique is one of them. This technique is promising and possesses several advantages over other techniques, which justifies its application in the treatment of effluents [7]. Also, adsorption allows the use of various materials as adsorbents, from activated carbon to industrial wastes [8]. The term adsorption implies the presence of an excess concentration of molecular species (gas or liquid), known as adsorbate (Figure 1), at the surface of porous solid (i.e. at the solid-fluid interface), known as adsorbent, compared to its concentration in the bulk of the adsorbent [9].

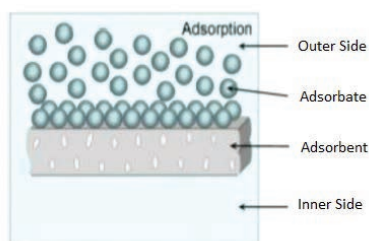


Figure 1. Schematic of the adsorption process [9]

The way of treating wastewater in Serbia is very important because of the future activities in the treatment and construction of new plants. According to the data from 2015, Serbia belongs to the group of middle-developed countries in terms of municipal infrastructure [3]. In [10], it is mentioned that 55% of the population in Serbia in 2015 had a sewer infrastructure, but less than 10% had a kind of wastewater treatment. Therefore, this country takes almost last place [10]. So, there are huge plans for wastewater treatment in Serbia because the biggest cities like Belgrade and Novi Sad do not have wastewater treatment plants.

Wastewater treatment plants are expensive due to the cost of the treatment and equipment. Furthermore, the type of treatment procedure is the one that has the greatest impact on the price of investment. Also, wastewater treatment plants are designed for capacities for future needs such as the treatment planning for 15 or 20 years later [11]. So, in this research, there is the need to point out the potential of natural zeolite usage in wastewater treatment. The natural zeolite has the potential because of its proven capability for treatment, availability in the Republic of Serbia and neighbouring countries, and low price.

1. Natural zeolites – definition, structure and characteristics

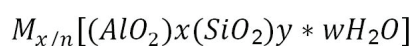
The term zeolite, derived from the Greek words ζέω (zéō), meaning to boil and λίθος (lithos), meaning stone [12], was originally coined in 1756 by Swedish mineralogist Axel Fredrik Cronstedt, who observed that upon rapidly heating the material stilbite, it produced large amounts of steam from water that had been adsorbed by the material [7]. The cause of this unusual behaviour was only revealed in the year 1857 when it was discovered that these materials have a microporous crystalli-

ne structure, capable of storing the water inside its pores and releasing it if heated, in theoretically infinite cycles of hydration and dehydration [7].

Zeolites constitute one of the largest groups of minerals known with more than 50 distinct natural species identified, while more than 100 species have been synthesized in the laboratory [12]. Clinoptilolite represents the most abundant natural zeolite and is widely used as a highly efficient catalyst, supplementary cementitious material, adsorbent, molecular sieve, ion exchanger, etc.

Natural zeolites are microporous, crystalline, hydrated aluminosilicate minerals of alkali and alkaline earth metal cations [12]. The main components in natural zeolite structure (Figure 2) are (i) aluminosilicate framework - an open, three-dimensional network of silicon-oxygen [SiO₄]⁴⁻ and aluminum-oxygen [AlO₄]⁵⁻ tetrahedra, which represents the most stable component that defines the type of zeolite, (ii) exchangeable cations located in the interconnected void spaces (or in "cages" and in cavities), and (iii) zeolitic water [12]. Substitution of Si⁴⁺ by Al³⁺ defines the negative charge of the aluminosilicate framework, which is neutralized by the presence of compensation cations [5].

The basic structure of natural zeolites can be described by the following general formula [13]:



where are:

M - monovalent or divalent cation (e.g., Na⁺, K⁺ or Ca²⁺, Mg²⁺),

w - a number of water molecules per unit cell,

n - the valency of the metal ion M which balances

the negative charges on the aluminosilicate framework.

The x/y ratio indicates the Si/Al ratio and its value usually ranges from 1 to 5 or 10-100 for high silica-containing natural zeolites [13].

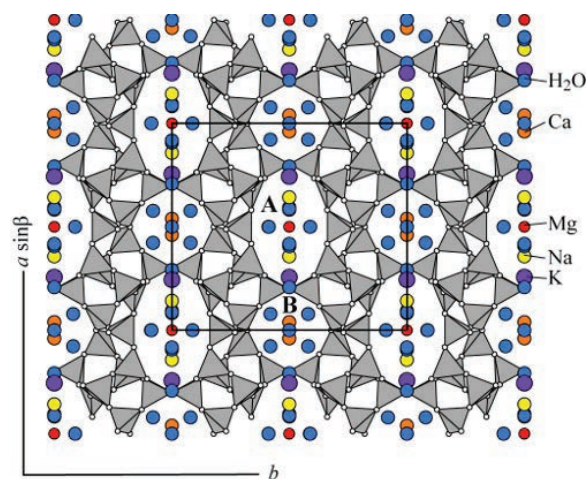
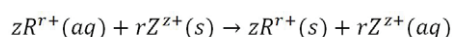


Figure 2. Model of zeolite (clinoptilolite) structure [14]

Zeolites are characterized by a structure with cavities and channels [15]. Due to their honeycomb-like structure [16], zeolites have large internal and external surface areas that house active centers, which makes them effective adsorbents [7]. Generally, those active centers can serve as binding sites for some new compounds, giving these minerals new characteristics, which greatly expands their application [15]. Besides specific surface area and pore size, the Si/Al ratio also affects the adsorption capacity of natural zeolites [17].

The significant characteristic of natural zeolites is their capability to exchange ions with the external medium [5], and therefore, natural zeolites are interesting materials for application in wastewater treatment. The weakly bound exchangeable cations can be substituted readily or removed by washing with a strong solution of another cation. This property is evaluated by the determination of the cation exchange capacity (CEC). CEC of zeolites is the function of the amount of Al: the

higher the Al content, the more exchangeable cations are needed to balance the charge [18]. The adsorption properties of zeolites depend upon their ion-exchange capabilities [19]. The reaction of ion exchange in an aqueous solution can be expressed by the following equation [5,17]:



where are:

r - the charge of the cation *R* contained in the solution,

z - the charge of the moving cation *Z* in the zeolite.

The chemical composition and CEC of natural zeolites from two Serbian and one Croatian quarry are presented in Table 1.

	Igroš [20], Serbia	Zlatokop [20], Serbia	Donje Jesenje [21], Croatia
SiO ₂	61.62	64.60	69.24
Al ₂ O ₃	12.05	12.40	12.66
Fe ₂ O ₃	2.02	1.84	1.84
CaO	5.44	4.02	3.15
MgO	1.37	0.80	0.39
K ₂ O	0.82	0.82	2.22
Na ₂ O	1.00	0.91	2.97
Si/Al	15.00	14.00	
L.O.I.	4.42	4.71	6.85
CEC (mmolM + /100g)	123	142	159

Table 1. Chemical composition of natural zeolites from the selected deposits

Based on the results of X-ray diffractogram analysis [20,21] it is determined that the dominant zeolite mineral in examined samples of zeolite tuffs is clinoptilolite.

2. Application of natural zeolites in wastewater treatment

Zeolites have unique ion-exchange properties, adsorption capabilities, mechanical, chemical, and thermal resistance, and low price [22]. Because of that natural zeolite may be applied for the treatment of wastewater and sewage produced by industry. Zeolites are the most used adsorbents because they are environmentally friendly, low cost, and release non-toxic exchangeable cations (K⁺, Na⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺) to the environment [17].

Due to their cationic exchange negative charge framework and CEC, zeolites have great potential to be used in the removal of a wide variety of substances, such as heavy metals, organic compounds, dyes, pigments, reagents, nitrogen compounds, among others [5].

Zeolite removal efficiency depends on the contaminant to be removed and can reach up to 96% for heavy metals, 90% for phosphoric compounds, 96% for dyes, 80% for nitrogen compounds, and 89% for organics [7]. In [23] is shown that natural zeolites hold great potential to remove cationic heavy metal species (Cu²⁺, Zn²⁺ and Mn²⁺) from industrial wastewater. Also, it is shown that natural zeolite and perlite have a high ability to eliminate Pb from industrial wastewater. This is supported by findings of [24, 25] which showed that zeolite has a high capacity to remove heavy metals from wastewater. In [26] is also sad that natural zeolite, clinoptilolite is used for the treatment of wastewater polluted with metals.

The textile basic dye can be removed from the water solution by using natural zeolite [27]. According to [27], zeolite is a very effective adsorbent for the removal of the basic dye from aqueous solutions with a justified

tendency of application in industrial conditions.

Natural zeolite tuff, which contains zeolitic mineral clinoptilolite with a minor amount of mordenite, as well as quartz, smectite and mica, was employed as a low-cost adsorbent for dye adsorption in methylene blue-containing wastewater [28].

In [22] it is said that several plants have been designed and built to treat municipal wastes using clinoptilolite-rich materials. There is an example of a plant with 27,000 m³/d capacity at Lake Tahoe, California which used several hundred tons of clinoptilolite-rich tuff from the Hector deposit in California, and even larger plants with 45,000 and 245,000 m³/d capacities have been built in Virginia, USA. Metabolic ammonia is a major pollutant in aquaculture systems and natural zeolites along with other ion-exchange materials have been used to remove NH₄⁺ from such polluted waters [22].

An example of good practice of natural zeolite usage in wastewater treatment is shown in [28] for a pig farm. Approximately 20 m³ of clinoptilolite-rich tuff (3-10 mm) from the Tokaj Hills deposit in Hungary were placed in each section. The zeolite filters removed 100% of oils and fats, 98% of suspended solids, and 95% of dissolved organic and inorganic impurities from the wastewater.

3. The potential of natural zeolite use in wastewater treatment in Serbia

The world is faced with increasing demands for high-quality drinking water and for the removal of contaminants from municipal, agricultural and industrial wastewaters [22]. Treatment is required to obtain drinking water from most natural resources as well as from wastewaters with varying amounts of impu-

rities. Adsorbents used in water treatments may have a natural origin or produce by an industrial and/or activation process. Typical natural adsorbents include clays, natural zeolites, various oxides, and biopolymers [29].

From an environmental perspective, conditions for wastewater discharge are increasingly stricter, and it is also looking for why they are cheaper to process. Indeed, research in the field of textile waste treatment is now moving towards increasing the application of natural materials - zeolites, primarily for their efficiency but also because of their low price [30]. The average price of zeolite in Serbia is 0,30€ per kilogram. As a raw material, zeolite can mostly be found in Serbia at several locations, so it is expected that the treatment process of using natural zeolite is economical. The price and characteristics of adsorption favor natural zeolite as an effective adsorbent for future dye removal, for example from the wastewater of the textile industry [27]

According to the literature data [31], there is a state that zeolites are much researched, but their application in surroundings practice is not huge [6].

As it is said in Chapter 2, natural zeolites are available in Serbia and Serbia's surroundings. Because of that, it is very important to think about this mineral as a good purifier of wastewater. Natural zeolites present a lower cost than synthetic zeolites, ensuring their application in animal feed production, water treatment, odor control, gas adsorption, and pozzolanic addition to Portland cement [32]. Recent investigations of natural zeolites as adsorbents in water and wastewater treatment, their properties and possible modification of natural zeolites have been the subject of many studies. Various natural zeolites around the world have shown good ion-exchange capacities for cations, such as ammonium and heavy metal ions [33].

Natural zeolites are less efficient since the presence of contaminating minerals reduces adsorption efficiency. Therefore, modification of natural zeolites is an alternative to enhancing their properties for application in wastewater treatment [6]. It can be concluded that this available mineral can be modified with processes and used in wastewater treatment. Low price is a benefit which is, in society nowadays, important. The smaller price of treating wastewater implies a smaller increase in water price for the population. This will greatly benefit the economic side of the state.

In [6] is said that one of the economic risks is an unfinished and incorrect estimation of financial benefits [34] which means that if there is a big impact on water price there may be a significant water consumption decrease. It, therefore, reduces the inflow of money for the loan installment.

4. Conclusion

Wastewater usually contains many pollutants such as cationic and anionic ions, oil, and organics, which have poisonous and toxic effects on ecosystems. Removal of these contaminants requires cost-effective technologies and a variety of techniques have been developed in the past decades in dealing with wastewater treatment. Because of natural zeolite's characteristics and low cost, they are considered good adsorbents for wastewater treatment. During the studies conducted in the past, there is evidence of good practice for zeolite use in wastewater treatment. In the Republic of Serbia and neighboring countries, zeolite is available and has a low price and that is one of the main potentials of this mineral. It can be concluded that natural zeolite has the potential for wastewater treatment, and that fact can be very important for the Republic of Serbia and the state of treating wastewater in the future.

Acknowledgments

This paper has been supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development through project no. 451-03-68/2022-14/ 200156 "Innovative scientific and artistic research from the FTS (activity) domain".

REFERENCES

- [1] Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D. "Wastewater Engineering, Treatment and Reuse", 4th ed., McGraw-Hill Education, New York, NY, USA, 2003.
- [2] Milutinović, R. "Doctrine – Accept Waste Water, Purify and Use It (APU)(Abstract)", Danubius, 2013. [online] Available at: <http://danube-cooperation.com/danubius/2013/12/24/doktrina-ppu-prihvati-otpadnu-vodu-precistiti-je-korisno-utrositi/>
- [3] Topalić Marković, J., Mučenski, V., Savić, D., Velkovski, T., Peško, I., Tomaš, L. "Risk Assessment Model for Planning and Design Processes of Wastewater Treatment Plants", Periodica Polytechnica Civil Engineering, 2020. <https://doi.org/10.3311/PPci.16740>
- [4] Dalmacija B., Maletić S., Krčmar D., Dalmacija M., Tomašević D., Ugarčina Perović S., Pešić V. „Practicum in water protection 2nd part“, Department for chemistry, biochemistry and environmental protection, University of Novi Sad, 2014.
- [5] Wang S., Peng Y. "Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment", Chemical Engineering Journal 156 (2010) 11–24
- [6] Apalović U., „The use of adsorption in wastewater treatment“, Faculty of Metallurgy, University of Zagreb, 2020., Available at: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:115:401728>
- [7] de Magalhaes L.F., da Silva G.R., Clark Peres A.E. "Zeolite Application in Wastewater Treatment", Review Article, Adsorption Science & Technology, Volume 2022, Article ID 4544104, 26 pages <https://doi.org/10.1155/2022/4544104>
- [8] R. Chakraborty, A. Asthana, A. K. Singh, B. Jain, and A. B. H. Susan, "Adsorption of heavy metal ions by various low-cost

3. BH Kongres o vodama / 3rd B&H Water Congress

- adsorbents: a review," *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, pp. 1-38, 2022.
- [9] Sharma R., Saini P "Graphene-based composites and hybrids for water purification applications", *INTECH, Open Science*, 2016, <http://dx.doi.org/10.5772/63666>
- [10] Jaroslav Černi Institute for the Development of Water Resources "Strategy of Water Management in the Republic of Serbia", [pdf] Jaroslav Černi Institute for the Development of Water Resources, Belgrade, Serbia, 2015.
- [11] Ljubisavljević D., Đukić A., Babić B. „Wastewater treatment“ 2nd edition, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, 2004
- [12] Jana D.: A new look to an old pozzolan: Clinoptilolite – A promising pozzolan in concrete, *Proceedings of the Twenty-ninth Conference on Cement Microscopy Quebec City, PQ, Canada*, 2007, 168-179
- [13] Mulimbayan F.M., Olegario-Sanchez E.M., Cervera R.B. "Thermal analysis of Philippine natural zeolites" *Zeolite 2014 – 9th International Conference on the Occurrence, Properties, and Utilization of Natural Zeolites*, Belgrade, Serbia, 2014, 163-164.
- [14] Available online: <http://www.iza-online.org/natural/Datasheets/Clinoptilolite/clinoptilolite.htm>
- [15] Krstić V., Role of zeolite adsorbent in water treatment, Book chapter 14, *Mining and Metallurgy Institute Bor*, Serbia, University of Belgrade, Technical Faculty Bor
- [16] Ahmadi, B., Shekarchi, M.: Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material, *Cement&Concrete Composites* 32,2010, 134-141.
- [17] Tasić Ž., Bogdanović G., Antonijević M. "Application of natural zeolite in wastewater treatment: A review", *Journal of Mining and Metallurgy* 55(1): 67-79, DOI:10.5937/JMMA1901067T
- [18] Radeka, M., Malešev, M., Radonjanin, V., Tatomirović, T.: Pozzolanic activity of natural zeolite from one Serbian deposit, in *International symposium on researching and application of contemporary achievements in civil engineering in the field of materials and structures: Proceedings, XXVI Congress, DIMK, Vrnjačka Banja*, 2014, 191-201.
- [19] De Gisi S., Lofrano G., Grassi M., Notarnicola M. "Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review, *Sustainable Materials and Technologies*, Volume 9, September 2016, pages 10-40
- [20] Radosavljević Mihajlović, A., Došen, A., Stojanović J., Kašić, V., Simić V. "OCCURENCES AND PROPERTIES OF ZEOLITIC TUFFS IN SERBIA" In *Proceedings of the 5th Serbian-Croatian-Slovenian Symposium on Zeolites*. May, 30 - June, 2, 2013. Zlatibor, Serbia, 116-119
- [21] Sekulić Ž., Kolonja B., Kragović M., Ivošević B., Mihajlović S. "Quality of Zeolite in the Function of Size Class", *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 30(3), DOI: 10.2478/gospo-2014-0028
- [22] Kallo D. "Applications of Natural Zeolites in Water and Wastewater Treatment", Chapter 15, *Chemical Research Center, Hungarian Academy of Sciences, Hungary, Budapest*
- [23] Asgari K., Cornelis W.M., Samadi N., Najafi P. "Effect of using natural substrate on elimination of heavy metals from industrial wastewater using pitcher irrigation", *Zeolite 2014 – 9th International Conference on the Occurrence, Properties, and Utilization of Natural Zeolites*, Belgrade, Serbia, 21-22
- [24] Halimoon, N, Goh Soo Yin R. (2010) Removal of heavy metals from textile wastewater using zeolite. *Environment Asia* 3 (special issue, 2010) 124-130
- [25] Perić J., Trgo M., Vukojević Medvidović N. (2004) Removal of zinc, copper and lead by natural zeolite - a comparison of adsorption isotherms, *Water Res.* 38 (7) 893-1899
- [26] Dalmacija B., Agbaba J., Rončević S. *Water protection technologies*, Faculty of science, Novi Sad
- [27] Amin G., Đorđević D., Konstantinović S., Jordanov I. (2017) The removal of the textile basic dye from the water solution by using natural zeolite, *Advanced technologies* 6(2) 67-71
- [28] Zubály Z, Zubály Zné, Zubály E, Zubály Z Jr (1991) Installation for cleaning and removal of

municipal, industrial or agricultural wastewaters especially of liquid manure in cascade system, Hungarian Patent

- [29] Pap S. (2017) New adsorbent mediums for separation of inorganic wastewater pollutants Based on the thermochemical conversion of biomass, the doctoral dissertation, Novi Sad
- [30] Cibulić V., Stamenković L., Veljković N., Staletović N. (2013) The dynamic of color adsorption process from the wastewater after coloring of textile on natural zeolites, *Hem.Ind.* 67(1)41-49, doi: 10.2298/HEMIND120209049C
- [31] Rožić M., Bolanča Z., Cerjan-Stefanović Š. "Prirodni zeoliti i mogućnosti njihove primjene u kontroli polutanata grafičke industrije", *Kemija u industriji* 53(2004), 10, 449-458
- [32] Flanagan D.M. (2016,2018) Zeolites - U, S, Geological Survey Minerals Yearbook
- [33] Margeta K., Zabukovec Logar N., Šiljeg M., Farkaš A. (2013) Natural Zeolites in Water Treatment- How effective is their use, Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/41947> doi: 10.5772/50738
- [34] Walewski J.A., Gibson G.E.Jr., Vines E.F. (2006): "Risk identification and assessment for international construction projects" In: *Global project management handbook*, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, NY, USA

E

kološke i ekonomske značajke mediteranske močvare Hutovo blato

/

T

he hutovo blato wetland- an integrated ecological and economic approach

Dr. sc. Anđelka Lasić

Izv. prof. Sveučilište u Mostaru
andjelka.lasic@fpmoz.sum.ba

Valentina Bevanda

Sveučilište u Mostaru
valentina.bevanda@fpmoz.sum.ba

Ana Buljubašić

Sveučilište u Mostaru
ana.buljubasic@fpmoz.sum.ba

Dr. sc. Anita Dedić

Izv. prof. Sveučilište u Mostaru
anita.dedic@fpmoz.sum.ba

Dr.sc. Dragan Škobić

Izv. prof. Sveučilište u Mostaru
dragan.skobic@fpmoz.sum.ba

Sanja Duranović

Sveučilište u Mostaru
sanjadjolo@gmail.com

Renato Vidić

Sveučilište u Mostaru
renatovidic22@gmail.com

Park prirode Hutovo blato je mala plitka mediteranska močvara slijevnog područja rijeke Neretve na jugo-istoku Bosne i Hercegovine. Zbog svojih prirodnih značajki, mediteransko močvarno područje je jedan od najvažnijih dijelova rijeke Neretve i kao takvo je proglašeno parkom prirode 1995. i uključeno u Ramsarsku konvenciju kao područje od međunarodnog značaja. Područje ima vrlo specifične hidrološke značajke što rezultira specifičnostima slatkovodne bioraznolikosti i visokog stupnja endemizma. No s druge strane, park prirode može doprinijeti učinkovitijoj uspostavi održivog turističkog razvoja s ciljem povećanja ekonomske koristi. Za sad, područje parka prirode nije adekvatno uređeno, valorizirano niti dostupno posjetiteljima. Obzirom da se radi o zaštićenom području, potrebno je u skladu s utvrđenim ograničenjima, napraviti planove posjeta koji bi omogućili primjereno korištenje, odnosno koji ne bi ugrozili vrijednosti parka prirode, njegov opstanak i zaštitu. Cilj ovog rada je predstaviti ekološke i ekonomske značajke Mediteranske močvare s osvrtom na rijetke, osjetljive i endemske vrste koje tu obitavaju te utvrditi njihovu ekonomsku vrijednost u uspostavljanju održivog turizma.

Ključne riječi

Hutovo blato, mediteranska močvara, bioraznolikost, održivi razvoj i turizma

The Hutovo blato Nature Park is a small, shallow Mediterranean type wetland of the Neretva River Basin located in the SE of Bosnia and Herzegovina. Due to its natural characteristics, the Mediterranean wetland area is one of the most important parts of the Neretva River and as such was declared as a Nature Park in 1995 and included in the Ramsar Convention as an internationally important area. The Hutovo blato area has very specific hydrological features which results in specific features of freshwater biodiversity and a high degree of endemism. Also, the Hutovo blato Nature Park can contribute to the effective establishment of sustainable tourism development of the protected area with the aim of increasing the economic benefits. The Hutovo blato Nature Park area has not been adequately developed, valorised or accessible to visitors for now. Considering the fact that it is a protected area, it is necessary, in accordance with the established restrictions, to plan visiting schemes that would allow appropriate use or that would not endanger the values of the Hutovo blato Nature Park and endanger its survival and protection. The aims of this paper are: present the ecological characteristics and specifics of this karstic wetland and the rare, sensitive and endemic species that inhabit them, and to determine its economic value in establishing sustainable tourism.

Key words

The Hutovo blato, mediterranean wetland, biodiversity, sustainable development and tourism

**Hutovo blato je područje iznimne
biološke raznolikosti i jedno od
najbogatijih močvarnih rezervata u
ovom dijelu Europe. Nalazi se na lijevoj
strani donjeg toka rijeke Neretve. u
jugoistočnoj Hercegovini, na teritoriju
Federacije Bosne i Hercegovine,
županija Hercegovina – neretvanska,
na području općina Čapljina i Stolac.**

Park Prirode Hutovo blato osnovan je 1995. godine i zauzima površinu od 7411 ha. Prepoznato je kao močvarno područje od međunarodnog značaja i uvršteno je na Ramsarsku listu 24.09.2001.g., a 1980. godine u Međunarodni projekt za zaštitu mediteranskih močvara.

Hutovo blato dio je delte rijeke Neretve koja je prekograničnog karaktera i značaja. Nalazi se u gornjem dijelu delte rijeke Neretve, ima površinu 74 km², a 60% (oko 44 km²) pripada močvari. Najizdašniji izvori su: Londža, Drijen, Orah, Jelim i Škrka i niz bezimernih izvora koji daju obilje vode iz kojih se formira Deransko jezero, a iz njega rijeka Krupa u duljini od 14 km odvodi vode Hutova blata u rijeku Neretvu.

Ciljevi ovog rada bili su: istražiti sastav i strukturu makrofitske flore jezera Hutovog Blata i ocijeniti njihovo biološko stanje, utvrditi vodene i močvarne biljne zajednice (asocijacije) u tim jezerima te njihov sintaksonomski status. Time će se značajno doprinjeti poznavanju raznolikosti biljnih svojti, staništa ugroženih reliktnih vrsta i ekosustava u Bosni i Hercegovini. Također i usporediti floristički sastav asocijacija u tim jezerima s istim iz prijašnjih rezultata istog i drugih područja u široj regiji. Na području Hutova Blata kao i području uz Neretvu od Mostarskog Blata do njezine delte vršena su mnoga floristička i vegetacijska istraživanja (Riter-Studnička 1975, Bjelčić 1988, Lovrić i sur. 1989, Jasprica i sur. 2022., 2003).

Temeljem tih, a i novijih vegetacijskih istraživanja, zaključeno je da je u Hutovom Blatu prisutno 39 asocijacija unutar razreda *Lemnetea*, *Potametea*, *Phragmito australis-Magnocaricetea elatae* i *Isoëto Nanojuncetea* (Jasprica i sur. 2003). Također je zaključeno da se vodena i močvarna vegetacija u Hutovom Blatu ne razlikuje znatno floristički od onih istih ili sličnih iz unutrašnjeg kontinentalnog dijela Balkanskog područja.

U Bosni i Hercegovini, u kojoj se nalazi dio delte rijeke Neretve, posebno sustav Hutova Blata, čini jedinstvenu cjelinu s onim dijelom delte rijeke koji se nalazi u Hrvatskoj. Promjene koje se događaju u gornjem dijelu delte, izravno utječu na ekosustave u donjem dijelu. Vršeci usporedna istraživanja vegetacije u oba dijela delte zaključeno je kako se u donjem dijelu nalaze zajednice sa značajno izmijenjenom strukturom, među kojima se posebno ističu asocijacije *Cladietum marisci* i *Hydrocotyle-Caricetum elatae* (Jasprica i Buntić 2003). Asocijacije koje u oba dijela delte zauzimaju najveće područje su asocijacija *Phragmitetum australis* i asocijacije iz sveze *Magnocaricion elatae* (Jasprica i sur. 2003, Jasprica i Kovačić 2005).

1. Područje istraživanja

Hutovo blato smješteno je u području Dinarskog krša u jugoistočnoj Hercegovini.

Depresija je koju vapnenački greben Ostrovo dijeli na Gornje Hutovo blato (s Deranskim blatom) i Donje Hutovo blato sa Svitavskim blatom. Niski dijelovi Svitavskog/Donjeg blata imaju nadmorsku visinu od 1,5 do 3,5 m n.m., a Deransko/Gornje blato od -1,5 m do 2,5 m n.m. Površina parka iznosi 7824 ha, a nalazi se na području općina Čapljina (4993,30 ha) i Stolac (2830,70 ha).

U parku postoji šest plitkih (maksimalne dubine 1-2 m) jezera: Škrka, Jelim, Drijen, Orah,

Deran i Donje Blato. Osim Donjeg Blata koje je akumulacijsko jezero, dijelovi dna ovih jezera predstavljaju kriptodepresiju. Vodene mase jezera uglavnom potječu iz brojnih podzemnih kraških izvora koji se nalaze uz obodne rubove. Vrlo su aktivni u jesen i rano proljeće. Jezero Deran sakuplja vode koje dolaze iz jezera Jelim, Drijen i Orah te kanala Londža. Pored toga, sliv Hutovog blata opskrbljuje se površinskim vodama koje potječu iz rijeke Neretve. Te vode nalaze svoj put protječući kroz korito rijeke Krupe. Rijeka Krupa (dugačka 20 km), glavni plovni put u parku, formira se u zapadnom dijelu jezera Deran. Nema vlastiti izvor, ali skuplja vodu iz svih jezera i usmjerava je prema rijeci Neretvi. Maksimalni nivo vode i protok rijeke Krupe je pet metara i 176 m³s⁻¹ (Jasprica, Carić & Batistić, 2003).

Šire područje "Parka prirode Hutovo Blato" izgrađuju dobro propusne karbonatne naslage kavernoznopukotinske poroznosti kredne i paleogene starosti. Vapnenci su dobro okršeni i ispucali osobito sjeveroistočno od navlake Klepco-Ostrova-Svitava. Vapnenačke stijene su osnovni vodonosnik plitkih podzemnih voda. Površinski tokovi su potpuno nestali, jer oborinske vode koje padnu na okršenu podlogu odmah poniru i ponovo se javljaju na ograničenom broju izvora u erozinim bazama ili na kontaktima s flišnim nepropusnim naslagama.

Na Hutovo blato istodobno djeluju dva velika hidrološka sustava od kojih je jedan sustav rijeke Trebišnjice zajedno s Bregavom i sustav rijeke Neretve. Svitavska i Deranska depresija otvorene su prema dolini rijeke Neretve. Ukupna voda koja dotječe u močvaru potiče od voda iz neposrednog sliva Hutova blata (vode koje poniru u nizvodnom dijelu Popova polja, vode koje poniru u donjem dijelu korita rijeke Bregave i od voda koje su pod utjecajem Neretve). Ovo područje se prihranjuje putem izvora i izvorišnih zona na južnom i jugozapadnom obodu Svitavske depresije te istočnom,

sjeverozapadnom te južnom obodu Deranske depresije. Dobro su utvrđene podzemne veze između tih izvora i ponora nizvodnog dijela Popova polja te ponorskih zona Dabarskog polja i korita rijeke Bregave.

2. Materijal i metode

Istraživanje biljnih zajednica u Parku prirode Hutovo Blato provedeno je 2020. godine tijekom maksimuma razvoja vegetacije tj. od lipnja do listopada na jezerima Jamica, Londža, Škrka, Krupa, Matica Svitavska, Jelim i Deran koji pripadaju području parka prirode Hutovo Blato. Ukupno je napravljeno 21 fitocenološka snimka. Za određivanje biljnih zajednica korištena je metoda Zürich-Montpellier fitocenološke škole (Braun-Blanquet 1964).

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), Garcke (1972), Pignatti (1982), Domac (1994) i dr. Nomenklatura biljnih svojti je usklađena prema djelu Flora Europaea (Tutin i sur. 1964-1980, 1993). Nomenklatura sintaksonomskih jedinica usklađena je prema Horvat i sur. (1974), Trinajstić (1998), Balátova-Tuláčkova i sur. (1993), Moravec i sur. (1994), Mucina (1997), Philippi (1998), Oberdorfer (2001), Rivas-Martínez i sur. (2001), Jasprica i Carić (2002), Trinajstić (2008) i dr., a prema pravilima koje definira The Third Edition of the International Code of Phytosociological Nomenclature (Weber i sur. 2000).

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 kratica pri-

padajućeg životnog oblika: Phanerophyta (P), Nanophanerophyta (NP), Chamaephyta (Ch), Hemicryptophyta (H), Geophyta (G), Therophyta (T) i Hydrophyta (Hy).

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

3. Rezultati i rasprava

3.1. Analiza flore

Ukupno su utvrđene 62 biljne svojte unutar 50 rodova i 30 porodica. Porodice s najvećim brojem svojti su *Lamiaceae* (7 svojti, 11,29%), *Cyperaceae* (6 svojti, 9,68%) zatim slijede *Poaceae* (5 svojti, 8,06%), *Asteraceae* (4 svojte 6,45%) te *Juncaceae* i *Scrophulariaceae* (po 3 svojte, 4,84%). Najveći broj vrsta pronađen je na postaji Jelim, dok su postaje Deran i Jamica imale najmanji broj vrsta. Postaja Jamica je presušila u rujnu te je uzorkovanje tijekom tog mjeseca bilo onemogućeno. Porodice s najvećim brojem prikupljenih svojti su *Lamiaceae* (7 svojti, 11,29%), *Cyperaceae* (6 svojti, 9,68%) te *Poaceae* (5 svojti, 8,06%). Kada je riječ o životnim oblicima na cijelom području dominiraju hemikriptofiti (33,87%), a zatim hidrofiti (24,19%) te geofiti (22,59%). Lasić (2011) navodi da razlog tomu može biti uzorkovanje u različitim razdobljima tijekom vegetacijske sezone, a i pojava terestričkih vrsta. Također visok postotak hemikriptofita nije rijetka pojava, zabilježena je u raznim istraživanjima, te se smatra da terestričke vrste koloniziraju riječne obale uslijed nepovoljnih klimatskih uvjeta i nestalnih protoka vode. Te vrste su najčešće ruderalne, sklerofilne, nitrofilne i korovne vrste tipične za mediteranske livade (Ferreira i Moreira 1999, Ferreira i sur. 2004).

Utvrđena je najveća zastupljenost biljaka široke rasprostranjenosti, zatim slijedi euroazijski florni element (te biljke cirkum-holarktičke rasprostranjenosti (19,35%). U analizi flornih elemenata na cijelom području je vidljiva dominacija biljaka iz gupe flornih elemenata širokog rasprostranjenja u koju spadaju eurazijski (EUZ) 24,19 %, te biljke širokog rasprostranjenja (BŠR) 29,03%. Lasić (2011.) također ističe kako je ovakav rezultat normalna pojava u svim vodenim ekosustavima uslijed relativno ujednačenih uvjeta vode kao životne sredine.

U analizi životnih oblika najveću zastupljenost imaju hemikriptofiti (33,87%), zatim slijede hidrofiti (24,19%) te geofiti (22,59%).

Među prikupljenim svojstama zabilježene su njih četiri koje pripadaju kategorijama osjetljive i kritično ugrožene svojte (prema Šilić, 1996.):

1. *Cyperus michelianus* (L.) Link (CR)
2. *Hydrocotyle vulgaris* L. (V)
3. *Hippuris vulgaris* L. (V)
4. *Nuphar lutea* Sibth. et Sm. (V)

Iako istraživano područje Park prirode Hutovo Blato pripada submediteranskoj vegetacijskoj zoni, vodena se vegetacija ne razlikuje bitno od one koja se nalazi u unutrašnjosti Balkanskog poluotoka. Unatoč činjenici da je istraživano područje pod utjecajem mnogih antropogenih učinaka ukupna slika vegetacije močvarnog zemljišta Hutova Blata ne pokazuje ozbiljne trendove degradacije (Jasprica & Carić, 2002).

3.2. Analiza vegetacije

Potametea pectinati Klika in Klika et Novák 1941.

Potametalia Koch 1926

Potamion (Koch 1926) Libbert 1931

Potameto-Najadetum H-ić et Micev. 1960

Ceratophylletum demersi Hild 1956

Nymphaeion albae Oberdorfer 1957

Myriophyllo-Nupharetum W. Koch 1926

Ranunculion fluitantis Neuhäusel 1959

Ranunculo fluitanti-Sietum erecto-submersi (Roll 1939)

Th. Müller 1962

Phragmito australis-Magnocaricetea elatae Klika in Klika et Novák 1941

Phragmitetalia W. Koch 1926

Phragmition australis W. Koch 1926

Phragmitetum australis Schmale 1939

Scirpetum lacustris Schmale 1939

Typhetum latifoliae G. Lang 1973

Cyperetum longi Micevski 1957

Cladietum marisci Allorge 1922

Nasturtio-Glycerietalia Pignatti 1953

Glycerio-Sparganion Br. - Bl. et Sissingh in Boer 1942

Sparganio-Glycerietum fluitantis Br.-Bl. 1925

Za vrijeme tromjesečnog istraživanja područja Parka prirode Hutovo Blato, točnije 7 postaja utvrđeno je 10 biljnih asocijacija: *Potameto-Najadetum*, *Ceratophylletum demersi*, *Myriophyllo-Nupharetum*, *Ranunculo fluitanti-Sietum erecto-submersi*, *Phragmitetum australis*, *Scirpetum lacustris*, *Typhetum latifoliae*, *Cyperetum longi*, *Cladietum marisci* te *Sparganio-Glycerietum fluitantis* (Tab. 1.). Razredi s najvećim brojem asocijacija su *Phragmito australis-Magnocaricetea elatae* (6) i *Potametea pectinati* (4). Asocijacije koje

zauzimaju najveće površine Hutova Blata su *Phragmitetum australis* koju pronalazimo na ukupno četiri postaje (Matica Svitavska, Škrka, Jelim i Deran), zatim asocijacija *Cyperetum longi* (Londža, Matica Svitavska i Jelim) te asocijacija *Myriophyllo-Nupharetum* koju također kao i prethodnu možemo pronaći na tri postaje (Krupa, Jelim, Deran).

Asocijacija *Phragmitetum australis* kao što navodi i Lasić (2011) razvija se na staništima koja se povremeno plave ali i na onim mjestima gdje je dubina vode do 1,5 metara. Ova asocijacija u svom sastavu može imati relativno mal broj vrsta npr. 4-9 kao što je slučaj sa postajom Deran gdje je prisutno 6 vrsta, ali i jako velik broj vrsta (do 47) kao na postaji Jelim gdje je prisutno njih 24. Zajednica *Scirpetum lacustris* se također u Hutovu Blatu razvija od 0,5 do 1m, dok drugi autori poput Weeda i sur. (1995) nalažu da se razvija u otvorenim kanalima bogatim nutrijentima i pri dubinama do 3,5m (Lasić, 2011). Za ovu zajednicu je također moguće da je floristički siromašna ili da ima velik broj vrsta u svom sastavu. Razvija se na postaji Matica Svitavska (uključuje 17 vrsta).

4. Zaključci

Unutar istraživanog područja na sedam postaja Jamica, Londža, Krupa, Matica Svitavska, Škrka, Jelim i Deran ukupno su uzorkovane 62 biljne svojte unutar 50 rodova i 30 porodica. Ukupno je utvrđeno 10 biljnih zajednica svrstanih u 5 sveza (*Potamion*, *Nymphaeion albae*, *Ranunculion fluitantis*, *Phragmition australis* i *Glycerio-Sparganion*), 3 reda (*Potametalia*, *Phragmitetalia* i *Nasturtio-Glycerietalia*) i 2 vegetacijska razreda (*Potametea pectinati* i *Phragmito australis-Magnocaricetea elatae*). Podaci utvrđeni ovim istraživanjem će poslužiti pri predlaganju mjera zaštite i/ili upravljanja Parka prirode Hutovo Blato koje je upisano u listu močvara od međunarodne važnosti po metodologij Ramsarske konvencije i registrirano pri UNESCO-vom Direkto-

ratu u Parizu. Park prirode može doprinijeti učinkovitijoj uspostavi održivog turističkog razvoja s ciljem povećanja ekonomske koristi. Za sad, područje parka prirode nije adekvatno uređeno, valorizirano niti dostupno posjetiteljima. Obzirom da se radi o zaštićenom području, potrebno je u skladu s utvrđenim ograničenjima, napraviti planove posjeta koji bi omogućili primjereno korištenje, odnosno koji ne bi ugrozili vrijednosti parka prirode, njegov opstanak i zaštitu.

LITERATURA

- [1] Bjelčić, Ž., 1988. Makrofitska flora i vegetacija Hutova Blata. Zbornik radova Savjetovanja Hutovo Blato – stanje i perspektive zaštite. Društvo ekologa Bosne i Hercegovine, Sarajevo – Hutovo Blato, 29-30.10.1987., 8-26.
- [2] Braun-Blanquet, J., 1964. Pflanzensoziologie: grundzüge der vegetationskunde. Zweite, umgearbeitete und vermehrte Auflage. Springer-Verlag, Wien.
- [3] Balátová-Tuláčková, E., Mucina, L., Ellmauer, T., Wallnöfer, S., 1993. PhragmitiMagnocaricetea (79-130). In: Grabher, G., Mucina, L. (eds), Die Pflanzengesellschaften Österreich. Teil II. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- [4] Carpenter, R. S., Lodge, M. D., 1986. Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes. *Aquatic Botany* 26, 341-370.
- [5] Demars, B. O. L., Harper, D. M., 1998. The aquatic macrophytes of an English lowland river system: assessing response to nutrient enrichment. *Hydrobiologia* 384, 75- 88.
- [6] Domac, R., 1994. Flora Hrvatske, priručnik za određivanje bilja. Školska knjiga, Zagreb.
- [7] Dimopoulos, P., Sýkora, K., Gilissen, C., Wiecherink, D., Georgiadis, T., 2005. Vegetation ecology of Kalodiki Fen (NW Greece). *Biologia*, Bratislava 60, 69-82.
- [8] Ehrendorfer, F., 1973. Liste der Gefasspflanzen Mitteleuropas. 2e Aufl. Stuttgart: G. Fischer xii.
- [9] Ecoplan & Elektroprojekt d.d., 2013. Prostorni plan i plan upravljanja za Park prirode Hutovo

- blato. Zagreb.
- [10] Garcke, A., 1972. *Illustrierte Flora*, Verlag Paul Parey, Berlin-Hamburg.
- [11] Germ, M., Dolinšek, M., Gaberščik, A., 2003. Macrophytes of the River Ižica – comparison of species composition and abundance in the years 1996 and 2000. *Archiv für Hydrobiologie Supplement 147 (Large Rivers 14)*, 181-193.
- [12] Holmes, N. T. H., Boon, P. J., Rowell, T. A., 1998. A revised classification system for British rivers based on their aquatic plants communities. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 8*, 555-578.
- [13] Horvatić, S., Ilijanić, Lj., Marković-Gospodarić, Lj., 1967-1968. Biljni pokrov okoline Senja. *Senjski zbornik 3*, 298-322.
- [14] Horvat, I., 1950. *Šumske zajednice Jugoslavije*. Jugoslavenski leksikografski zavod. Zagreb 1963.
- [15] Hegi, G., 1906-1931. *Illustrierte Flora von Mitteleuropa I-VI*. Car Hanser Verlag. München.
- [16] Hayek, A., 1927-1933. *Prodromus florae peninsulae Balkanicae I-III*. Berlin-Dahlem.
- [17] Horvat, I., Glavač, V., Ellenberg, H., 1974. *Vegetation Südosteuropas*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- [18] Horvatić, S., 1963. Vegetacijska karta otoka Paga s općim pregledom vegetacijskih jedinica hrvatskog primorja. *Prirodoslovna istraživanja JAZU, serija Acta biologica 4*, 5-181.
- [19] Jasprica, N., Carić, M., 2002. Vegetation of the natural park of Hutovo Blato (Neretva river delta, Bosnia and Herzegovina). *Biologia, Bratislava 57*, 505-516.
- [20] Jasprica, N., Carić, M., Batistić, M., 2003. The marshland vegetation (Phragmito-Magnocaricetea, Isoeto-Nanojuncetea) and hydrology in the Hutovo Blato Natural park (Neretva River delta, Bosnia and Herzegovina). *Phyton (Horn, Austria) 43*, 281-294.
- [21] Jasprica, N., Buntić, I., 2003. Vodene i močvarne biljne zajednice u delti Neretve. *Zbornik radova Znanstveno-stručnog simpozija "Voda u kršu slivova Cetine, Neretve i Trebišnjice"*, Neum, 25.-27.9.2003., 575-579. Sveučilište u Mostaru, Bosna i Hercegovina.
- [22] Jasprica, N., Kovačić, S., 2005. Water and marshland vegetation in the Neretva River delta, Croatia. *Book of Abstract of the 30th Symposium of the East Alpine-Dinaric Society for Plant Ecology*. Zagreb, Croatia, July 4-6, 2005.
- [23] Javorka, S., Csápody, V., 1934. *A magyar flóra Képekben (Iconographia Florae Hungaricae)*. "Studium", Budapest.
- [24] Janauer, G. A., 2001. Is what has been measured of any direct relevance to the success of the macrophyte in its particular environment? *Journal of Limnology 60*, 33-38.
- [25] Josifović, M., Stjepanović, L., Kojić, M., Diklić, N., (ur.) 1970.-1977. *Flora SR Srbije*. Beograd: SANU - Odeljenje prirodno-matematičkih nauka.
- [26] Jarolímek, I., Banásova, V., Ořaheřová, H., 1999. Effects of ecological gradients on the vegetation zonation of the emergent bank. *Biologia, Bratislava 54*, 405-413.
- [27] Lakušić, R., Pavlović, D., Abadžić, S., Grgić, P., 1978. *Prodromus biljnih zajednica Bosne i Hercegovine*. *Godišnjak Biološkog Instituta Univerziteta Sarajevo 30*. Posebno izdanje.
- [28] 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.
- [29] Lasić A. 2011. Ekološke značajke biljnih zajednica u krškim rijekama Trebižatu i Lištici (Bosna i Hercegovina). *Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb*.
- [30] Madsen, J. D., Chambers, P. A., James, W. F., Koch, E. W., Westlake, D. F., 2001. The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes. *Hydrobiologia 444*, 71-84.
- [31] Moravec, J. i sur., 1994. *Fytocenologie*. Academia Praha.
- [32] Mucina, L., 1997. Conspectus of classes of European vegetation. *Folia Geobotanica 32*, 117-172.
- [33] Ořaheřová, H., 1996. The marshland vegetation (Phragmiti-Magnocaricetea) along the lower reaches of the Morava river. *Biologia, Bratislava 51*, 391-403.

- [34] Oberdorfer, E., 2001. Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete. Ed. 8., Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- [35] Pignatti, S., 1982. Flora d'Italia I-III. Edagricole, Bologna.
- [36] Philippi, G., 1998. Klasse: Phragmitetea Tx. et Prsg. 42. In: Oberdorfer E. (ed.): 119- 165, Süddeutsche Pflanzengesellschaften. Teil I. Fels- und Mauergesellschaften, alpine Fluren, Wasser-, Verlandungs- und Moorgesellschaften. 4. Aufl. Gustav Fischer Verlag Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm.
- [37] Riter-Studnička, H., i Grgić, P., 1975. Izveštaj za vegetacijsku kartu Jugoslavije. – Popovo polje i Hutovo Blato. Elaborat Biološkog instituta Univerziteta u Sarajevu.
- [38] Roelofs, J. G. M., 1983. Impact of acidification and eutrophication on macrophyte communities in soft waters in The Netherlands I. Field observations. *Aquatic Botany* 17,139-155.
- [39] Rieley, J. O., Page, S., 1990. Ecology of plant communities. Longman Scientific & Technical., Burnt Mill.
- [40] Stefanović, V., Beus, V., Burlica, Č., Dizdarević, H., Vukorep, I., 1983. Ekološkovegetacijska rejonizacija Bosne i Hercegovine, Sarajevo, 1983, Šumarski fakultet Posebna izdanja br. 17.
- [41] 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.
- [42] 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.
- [43] Tóth, A., Braun, M., 1995. The relationship of water chemistry and vegetation patchiness on a marsh in N.E. Hungary. *Archiv für Hydrobiologie* 135, 233-241.
- [44] Trinajstić, I., 1998. Fitogeografsko raščlanjenje klimaznalne šumske vegetacije hrvatske. *Šumarski list* 9-10, 407-421.
- [45] Trinajstić, I., 2008. Biljne zajednice Republike Hrvatske. Akademija šumarskih znanosti, Zagreb.
- [46] 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.
- [47] 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.
- [48] Vahle, H. C., Preising, E., 1990. Potametia Tx. et Prsg. 42. In: Preising et al. 1990., Pflanzengesellschaften Niedersachsens. *Naturshutz und Landschaftspf. Nieders.* 20, 101-128.
- [49] Weber, H. E., Moravec, J., Theurillat, J.-P., 2000. International code of phytosociological nomenclature. *Journal of Vegetation Science* 11, 739-768.

Krški izvori- ekološki status, praznine i budući izazovi

/

Karstic springs-current ecological status, gaps and future

Dr. sc. Anita Dedić

Izv. prof., Sveučilište u Mostaru, FPMOZ
anita.dedic@fpmoz.sum.ba

Dr. sc. Dragan Škobić

Izv. prof., Sveučilište u Mostaru, FPMOZ
dragan.škobic@fpmoz.sum.ba

Dr. sc. Svjetlana Stanić-Koštroman

Red. prof. Sveučilište u Mostaru, FPMOZ
svjetlana.stanic.kostroman@fpmoz.sum.ba

Mrs. Sanja Duranović

Assis. Sveučilište u Mostaru
sanjadjolo@gmail.com

Dr. sc. Anđelka Lasić

Izv. prof., Sveučilište u Mostaru, FPMOZ
andjelka.lasic@fpmoz.sum.ba

Dr. sc. Dubravka Hafner

Izv. prof., Sveučilište u Mostaru, FPMOZ
dubhafner@gmail.com

Bosna i Hercegovina ima specifične hidrološke čimbenike, što rezultira brojnim i raznolikom izvorskim staništima. Krški izvori su najučestaliji tipovi izvora u krškom području. Opisuje ih fizikalno kemijska stabilnost, niska temperatura vode, visoka okigenaciju te generalno oligotrofni uvjeti. U njima obitavaju raznolike zajednice algi, cijanobakterija, biljaka i životinja, a zahvaljujući specifičnim uvjetima odlikuju se visokim stupnjem endemizma. Krški izvori su ranjivi ekosustavu u pogledu bioraznolikosti. Izloženi su različitim antropogenim pritiscima i klimatskim promjenama. Cilj ovog rada je predstaviti bioraznolikost krških izvora, ekološki status te posljedice antropogenih i klimatskih pritisaka na istu.

Ključne riječi

Krški izvori, bioraznolikost, klimatske promjene

Bosnia and Herzegovina has very specific hydrological features, which result in numerous and diverse spring habitats. Karstic springs are a common occurrence in karst landscape. They are characterized by physico-chemical stability; low water temperatures with small annual fluctuations, high concentrations of oxygen, and high concentrations of carbon dioxide, and generally oligotrophic conditions. They are extremely valuable ecosystems in terms of biodiversity. They are characterized by diverse communities of algae, plants and animals and in many cases the biota shows a high degree of endemism. Karstic springs are under impacts of different stressors. The aim of this paper are show high biodiversity in karst springs, their ecological status and sensitivity of anthropogenic and climate changes impacts.

Key words

Karstic springs, biodiversity, climate change

U kršu kao posebnom tipu pejzaža česta pojava su krški izvori kao mjesta gdje podzemna voda izlazi na površinu zemlje stvarajući vidljiv tok. Prema Steinmannu [1] i Thienemannu [2] podjela izvora je uglavnom temeljena na brzini toka vode, i prema tome se razlikuju tri tipa: reokreni, limnokreni i helokreni.

Di Sabatino i sur. [3] smatraju da su reokreni izvori najučestaliji na jugu srednje Europe, helokreni u Skandinaviji, a limnokreni na krškom području. Gotova svi izvori imaju nisku temperaturu vode, bez velikih godišnjih kolebanja, visoku koncentraciju kisika, visoku koncentraciju CO₂ [4, 5]. Koncentracija amonijaka je uglavnom niža od 0,05 mg/L, a koncentracija nitrita od 0,01 mg/L [5]. Nitrita, veoma često, i nema u izvorišnim vodama. Obično pri visokim koncentracijama kisika amonijak i nitriti su prisutni u tragovima. Viša koncentracija nitrata ukazuje na veći antropogeni utjecaj. Sulfati su prisutni s koncentracijama od nekoliko desetinki mg/L. Stotinke mg/L mogu se naći u izvorima koji sadrže geološke formacije od gipsa kao što su izvori, pritoke rijeke Trebižat [4, 5].

Kloridi mogu biti prisutni s koncentracijom nižom od 10 mg/L [5]. Fosfor je prisutan također u niskim koncentracijama, od 0,005 do 0,050 mg/L [4, 5]. Podzemne vode u silikatnom vodonosniku imaju vrijednosti silikata od 3 do 10 mg/L, a u karbonatnom 1 mg/L [5]. Značajno obilježje krških izvora je i velika ovisnost između padavina i količine izljevova što kao posljedicu ima veliku razliku između minimalnog i maksimalnog izljevova, i to razliku u omjeru 1:60 pa i više [6]. Sve vrijednosti fizikalno - kemijskih čimbenika u vrijeme većih padavina mogu porasti.

1. Upravljanje vodama u Bosni i Hercegovini, zakonodavstvo i izvori

U Federaciji Bosne i Hercegovine razvoj pravnog i institucionalnog okvira upravljanja vodama na principima i u skladu sa zahtjevima politike i prava EU, a u prvom redu s Okvirnom direktivom o vodama, započeo je s donošenjem Zakona o vodama Federacije BiH (Službeni novine FBiH broj 70/06) [7]. Prema Zakonu o vodama, upravljanje vodama obuhvaća zaštitu i korištenje voda, zaštitu od voda te uređenje vodotoka. Kako su u Federaciji BiH vode proglašene za opće dobro, kao takve one su pod posebnom zaštitom Bosne i Hercegovine, Federacije Bosne i Hercegovine, županija i jedinica lokalne samouprave (gradova i općina).

Primarni cilj Okvirne direktive EU-a o vodama (WFD, 2000)[8] kao i drugih politika (npr. Strategija biološke raznolikosti EU, Zajednička poljoprivredna politika EU, UN ciljevi održivog razvoja) je zaštita, očuvanje i obnova vodenih ekosustava i njihovih funkcija. Unatoč velikom trudu u europskim državama, ODV nije donio očekivana poboljšanja. Trenutni pristup usredotočuje se na veća nizvodna vodna tijela, dok su izvorišta izostavljena. Na nizvodna tijela će vjerojatno utjecati višestruki pritisci iz raznih udaljenih izvora, što otežava prepoznavanje uzroka degradacije i odgovarajućih radnji. Nasuprot tome, mala vodena tijela, kao što su izvori, snažno su povezani s neposrednim slivovima, što čini otkrivanje uzroka degradacije jednostavnijim, omogućava lakše identifikiranje relevantnih dionika (stejkholdera) i vjerojatniji brži odgovor na ublažavanje. Posljedično, naponi usmjereni na mala vodna tijela vjerojatno će dovesti do poboljšanja kvalitete površinskih voda brže i isplativije. Mala vodena tijela igraju bitnu ulogu u prirodnoj kontroli poplava, zarobljavanju sedimenta i onečišćenja, zadržavajući hranjive tvari

i održavajući biološku raznolikost, koja se proteže u širi sliv.

Utjecaji ekoloških promjena uzrokovanih ljudskim djelovanjem vidljivi su na mnogim izvorima u dinarskom kršu. Razlike u hidromorfološkim obilježjima izvora u dinarskom kršu dovele su do postojanja različitih prijelaznih ekohidroloških oblika, od jako modificiranih „zabranjenih“ (tvoreći kamen ili betonsko pregrađeni bazen) do slabo ili umjereno modificiranih „cijevastih“ izvora [10, 11]

Izvori su prepoznati kao vodni resurs, ali ne i kao stanište. Limestone Precipitating Springs (EU-kod 7220) jedini je tip izvora koji je priznat Aneksom I Direktive o staništima Europske unije (EU), dok su svi ostali tipovi izvora izvan zaštite [10, 11]. Javnost izvore uglavnom doživljava kao opskrbljivače vode - za stoku i lokalne zajednice, a o njihovom ekološkom značenju vrlo se malo zna. Danas većina izvora u Dinarskom području, pa čak ni izvori u nacionalnim parkovima, nisu u prirodnom stanju [10]. Na Balkanu, kao i u Europi, izvori se uglavnom s ekonomskog i hidrološkog stajališta percipiraju kao izvori pitke vode zahvaljujući čemu se izvori kaptiraju u svrhu opskrbe vodom [10, 11].

2. Ekološke značajke i biološka raznolikost izvora

Izvori su izuzetno vrijedni ekosustavi u smislu biološke raznolikosti [9,10,11,13]. Opisuju ih raznolike zajednice biljaka i životinja dok u nekim slučajevima biota pokazuje visok stupanj endemizma [13]. Literaturni podaci o svim do danas objavljenim biološkim, ekološkim, faunističkim, florističkim i algološkim istraživanjima izvora Bosne i Hercegovine predstavljeni su u poglavlju (Stanić Koštroman i sur., 2021) knjige pod naslovom *Small water bodies* (13), izdavača Springer.

2.1. Alge u izvorima

Prvo detaljnije istraživanje algi u izvorima Bosne i Hercegovine proveo je Siniša Blagojević na krškim izvorima Mošćanica (Sarajevo) i Radobolja (Mostar) [4]. Uz navedenog autora nemjerljiv doprinos je dala Dubravka Hafner [13, 14, 15, 16]. U novije vrijeme problematikom algi u izvorima se bave Jasmina Kamberović sa Univerziteta u Tuzli [13, 18]. te Anita Dedić [13, 17] sa Sveučilišta u Mostaru.

2.2. Biljke u izvorima

Zbog hladnijih stanišnih uvjeta izvore najčešće naseljavaju stenotermne i reliktno biljne svojte [13]. U izvorima sliva Neretve i Cetine najzastupljenije su mahovine (*Cinclidotus aquaticus* (Hedw.) Bruch & Schimp., *Cinclidotus riparius* (Host ex Brid.) Arn., *Fontinalis antipyretica* Hedw., *Cratoneuron filicinum* (Hedw. Ripycepius), *Marchantia polymorpha* L.), a od biljaka *Mentha aquatica* L., *Agrostis stolonifera* L., *Equisetum arvense* L., *Adiantum capillus-veneris* L., *Berula erecta* (Hudson) Coville, *Epilobium hirsutum* L. i *Solanum dulcamara* L., *Eupatorium cannabinum* L., *Carex pendula* Huds. Problematikom makrofitske vegetacije krških izvora bavi se Anđelka Lasić sa Sveučilišta u Mostaru.

2.3. Životinje u izvorima

Prema procjenama Pavlovića i Pavlovića [18], izvorišta predstavlja 13,48% vrsta i podvrsta unutar limnofaunističke regije 5 (Dinarski zapadni Balkan), dok su ekstremni krenobioti zastupljeni s 3,78%. Ekstremnim krenobiontima unutar ove limnofaunističke regije dominiraju vrste i podvrste mekušaca i člankonožaca [18, 19]. Prema predviđanju Pavlovića [18] u limnofauni Bosne i Hercegovine očekuje se najmanje 325 endemskih vrsta i podvrsta životinja. U izvorima Bosne i Hercegovine endemske vrste i podvrste životinja predstavljaju planarije, puževi, pijavice, rakovi

i kukci [13, 18, 19, 20]. Problematikom faunističkih i ekoloških istraživanja na području Bosne i Hercegovine bave se Svjetlana Stanić Koštroman sa Sveučilišta u Mostaru, te Dean Dmitrović sa Univerziteta u Banja Luci.

3. Ugroženost i zaštita izvora i vrsta koje u njima obitavaju

Do danas nije zabilježen nijedan endem među cijanobakterijama i algama, ali se sumnja na njihovo postojanje osobito zbog velike raznolikosti izvorišta. Studije o vegetaciji izvorišta su rijetke, a kako su izvori često naseljeni ostacima glacijalne flore, potrebna su detaljnija istraživanja za detaljan sintaksonomski pregled u budućnosti. Važna su središta endemizma, posebno za faunu beskralješnjaka. Na primjer, krški izvor reokrena Vilenjska vrela, koje se nalazi u slivu rijeke Cvrčke (RS BiH), nastanjuju tri vrste endemičnih vodenih beskralješnjaka: *Belgrandiella bozi-darcurcici*, *Dina sketi* i *Drusus crenophylax* [13, 19]. Zbog svojih značajki, prvenstveno izoliranosti i fragmentiranosti, izvorska staništa i organizmi koji ih nastanjuju posebno su osjetljiva na promjene okoliša uzrokovane različitim antropogenim pritiscima [13, 21]. Jedan od glavnih stresora u izvorima Bosne i Hercegovine je promjena hidromorfoloških obilježja zbog sliva za potrebe vodoopskrbe ili njihovog utapanja izgradnjom brana i akumulacija. Upečatljiv primjer je potapanje izvora rijeke Rame (Buk i Krupić) nakon formiranja hidroakumulacije Rame 1960-ih godina. Ovi izvori bili su staništa endemske vrste *Drusus ramae* čije su populacije nakon uranjanja nestale, a jedina dosad poznata nalazišta ove vrste su dva izvora rijeke Lištice [21]. Onečišćenje vode također je značajan stresor u izvorima, posebice onečišćenje uzrokovano ispiranjem hranjivih tvari iz sliva. Povišene koncentracije hranjivih tvari posebno su prisutne u izvorima krškog područja koje karakterizira visoka propusnost supstrata i niska sposobnost autopročišćavanja [22]. Antropogeni utjecaji

prouzročili su smanjenje rasprostranjenja kod vrsta malog rasprostranjenja, ali su potaknule širenje raspona široko rasprostranjenih vrsta (13). Objavljeni radovi i studije o izvorima ističu važnost uspostavljanja više zaštićenih područja i zona smanjene ljudske aktivnosti kako bi se ublažili negativni antropogeni utjecaji na raznolikost organizama, posebno kao i potrebu promicanja oporavka usko rasprostranjenih vrsta kao cilj u programima za obnovu ekosustava.

Uz hidromorfološke promjene, kao i razne kemijske i biološke onečišćujuće tvari, izvori se smatraju staništima posebno osjetljivima na klimatske promjene [13, 21, 22]. Predviđeno globalno zatopljenje dovest će do daljnje fragmentacije, pa čak i nestanka pojedinih vodenih staništa, a organizmi koji žive u njima bit će suočeni s brojnim, višestrukim pritiscima [13, 21]. Prema Hershkovitzu i sur. [23], stenoendemične i hladne stenotermne vrste sa specifičnim fiziološkim zahtjevima bit će posebno osjetljive na predviđene klimatske promjene, a prvenstveno organizmi koji tu obitavaju.

Ekološke studije, istraživanja, objavljeni radovi provedeni na izvorima dinarskog krša imaju potencijal pomoći u razvoju odgovarajućih alata za procjenu izvorišta u skladu sa zahtjevima Europske okvirne direktive o vodama (WFD) o potrebi procjene antropogenog utjecaja na ekološki status svih vodna tijela.

4. Zaključci i smjernice za budućnost

Krški izvori pokazuju visok stupanj individualnosti (24) o čemu svjedoče različite ekološke studije i brojna istraživanja, naglašavajući bogate zajednice s velikim brojem endema, rijetkih i ugroženih vrsta koje naseljavaju izvore dinarskog krša. Izuzetno su ranjivi u pogledu degradacije staništa, hidromorfo-

loške modifikacije, smanjenja raznolikosti uslijed antropogenih i klimatskih pritisaka (13, 19, 21). Premda ranjivi i jako važni ekosustavi, još uvijek nisu uključeni u standardne alate za procjenu razvijenu od strane Europske Okvirne direktive o vodama (WFD) budući da se smatra da su izvori premali i previše različiti od donjeg toka tekućih voda. Svi postojeći postupci procjene odnose se na srednjoeuropsku regiju, dok za dinarsku regiju odgovarajući postupci procjene za izvorišta još nisu razvijeni. Kvaliteta podataka korištenih za ocjenu ekološkog stanja izvorišta, kao prvog koraka ka njihovoj zaštiti, ovisi o postupku uzorkovanja, ali i o točnosti primijenjene biotičke metrike [10,11]. Što se tiče biotičke metrike, naglasili su da je točnost s kojom standardna metrika makro-beskralješnjaka karakterizira ekološki status izvora gotovo nepoznata [10,11]. Indeksi su razvijeni i široko korišteni za ocjenu kakvoće tekućih voda [10,11] ali njihova primjena u izvorima vjerojatno zahtijeva modifikaciju. Na području Crne Gore [10,11] znanstvenici vođeni profesorom Vladimirom Pešićem razvili su novi multi-metrijski Spring_ICMi indeks, koji uključuje metrike specifične za procjenu odgovora makrobekralježnjaka u izvorima. Novouspostavljena metrika odražava i hidromorfološku i fizikalno-kemijsku degradaciju, te može pružiti kao okvir za procjenu degradacije izvora na regionalnoj i mogućem na globalnoj razini [10,11].

Degradacija malih vodnih tijela pa tako i izvora utječe na prirodne, hidrološke i kemijske procese koji djeluju u slivovima, ugrožavajući vrste koje tu obitavaju uz narušavanje i funkcije prirodnog ekosustava u slivovima. Izvješće o živom planetu (2018) je publikacija kojom je skrenuta pozornost na alarmantne gubitke biološke raznolikosti koji su opisana kao „nevidljiva tragedija“. Mala vodna tijela mogu podržati značajan udio vodene biološke raznolikosti sliva, uključujući vrste koje su jedinstvene i obitavaju u njima (do 30% razno-

likost makrobeskralježnjaka sliva) [24, 25].

Prioritetno je povezati istraživače i stejkholdere iz različitih disciplina (ekolozi, hidromorfolozi, hidrolozi, molekularni znanstvenici, hidrokemičari, i sl.) kako bi procijenili potencijal malih vodnih tijela za pružanje široko rasprostranjenih koristi i identificirali pristup upravljanju za mala vodna tijela. Navedeno je nužno za brzo postizanje velikih poboljšanja kvalitete vode, zaštitu pružanja usluga ekosustava i zaštitu biološke raznolikosti. Također je nužno oformiti platformu obučavajući sljedeću generaciju istraživača, angažirajući ih s novim tehnologijama i novim strategijama za učinkovit doprinos građana (*citizen science*). Nadalje, zajedničkim radom s upraviteljima voda, političara i drugih dionika, razviti konceptualni okvir za određivanje prioriteta radnje upravljanja malim vodnim tijelima u okviru programa mjera koje zahtijeva Okvirna Direktiva o Vodama.

LITERATURA

- [1] Steinmann P. (1915) Praktikum der Süßwasserbiologie. Teil 1: Die Organismen des fließenden Wassers. Borntraeger, Berlin, P. 1-184.
- [2] Thienemann A. (1924) Hydrobiologische Untersuchungen an Quellen. Archiv für Hydrobiologie 14: 151-189.
- [3] Di Sabatino A, Gerecke R, D'Alfonso S, Cicolani B (1997) Prime considerazioni sulla biodiversità delle sorgenti italiane: la taxocenosi ad acari acquatici (Acari, Actiniedida, Hydrachnidia). Atti Società Italiana di Ecologia 18: 171-174.
- [4] Blagojević S (1974) Razvoj perifitona u otvorenim uređajima vodovoda na krškim vrelima. Doktorska disertacija. Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- [5] Cantonati M, Bertuzzi E, Spitale D (2007) The spring habitat: biota and sampling methods. Museo Tridentino di Scienze Naturali, Trento. Monografie del Museo Tridentino di Scienze Naturali, 4.
- [6] Milanović PT (2006) Karst istočne Hercegovine i Dubrovačkog priobalja. Asocijacija speleoloških organizacija Srbije, Srbija.
- [7] European Commission, A blueprint to safeguard Europe's water resources, Communications from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM(2012)673 final, 2012
- [8] EU, Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, Official Journal of the European Communities L 327, 22.12.2000, Luxembourg, 2000
- [9] Stevanović, Z. (2010). Utilization and regulation of springs. In N. Kresic, & Z. Stevanović (Eds.), Groundwater hydrology of springs: Engineering, theory, management and sustainability (pp. 339-388). Burlington: Elsevier Inc BH.
- [10] Pešić, V., Dmitrović, D., Savić, A., Milošević, Dj., Zawal, A., Vukašinović-Pešić, V., von Fumetti, S. (2019a) Application of macroinvertebrate multimetrics as a measure of the impact of anthropogenic modification of spring habitats. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 29, 341-352.
- [11] Pešić, V., Savić, A., Jabłonska, A., Michonski, G., Grabowski, M., Bankowska, A. & Zawal, A. (2019b) Environmental factors affecting water mite assemblages along eucrenon-hypocrenon gradients in Mediterranean karstic springs. Exp. Appl. Acarol. 77, 71-486
- [12] Williams D D, Danks H V, Smith I M, Ring R A, Cannings R A (1990) Freshwater springs: a national heritage. The Entomological Society of Canada, Supplement to the Bulletin 22: 9.
- [13] Stanić-Koštroman, S., Kamberović, J., Dmitrović, D., Dedić, A., Škobić, D., Lasić, A., ... & Herceg, N. (2022). Ecological characteristics and specifics of spring habitats in Bosnia and Herzegovina. In Small Water Bodies of the Western Balkans (pp. 129-145). Springer, Cham.
- [14] Hafner D (2009) Dijatomeje krških izvora u Hercegovini. Radovi Hrvatskog Društva za Znanost i Umjetnost-XI: 209 - 220.
- [15] Hafner D, Jasprica N, Lončar A (2010) Cyanobacteria of the karstic springs in

- Herzegovina (Bosnia and Herzegovina). Zbornik radova Trećeg hrvatskog botaničkog kongresa. Murter-Zagreb: Hrvatsko botaničko društvo, 80.
- [16] Dedić A (2015) Dinamika naseljavanja perifitonskih dijatomeja u krškim izvorima Bosne i Hercegovine. Doktorska disertacija. Prirodoslovno matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu. Zagreb
- [17] Kamberović J (2020) Ekosistemi izvora planine Konjuh. OFF-SET Štamparija Tuzla
- [18] Pavlović B, Pavlović N (2000) Broj vrsta i podvrsta limnofaune Evrope koje žive u krenonskim biotopima Balkanskog poluostrva i problemi njihovog opstanka. -In: Radičević P (ed) Zbornik radova II naučno-stručnog savjetovanja Ekološke posledice rata u životnoj sredini, Teslić - Banja Luka, 2000. *Ecologica* (nauka, privreda, iskustva), no 6. Jugoslovensko društvo za širenje i primjenu nauke i prakse u zaštiti životne sredine - *Ecologica*, Beograd, p 135-138.
- [19] Dmitrović D, Savić A, Pešić V (2016) Discharge, substrate type and temperature as factors affecting gastropod assemblages in springs in northwestern Bosnia and Herzegovina. *Arch Biol Sci* 68(3): 613-621.
- [20] Savić A, Dmitrović D, Glöer P, Pešić V (2020) Assessing environmental response of gastropod species in karst springs: what species response curves say us about niche characteristic and extinction risk? *Biodivers Conserv* 29: 695-708.
- [21] Stanić-Koštroman, S (2009) Faunističke, ekološke i biogeografske značajke tulara (Insecta, Trichoptera) Bosne i Hercegovine. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu. Zagreb
- [22] Herceg N, Stanić-Koštroman S, Šiljeg M (2018) Čovjek i okoliš. Sveučilište Sjever, Hrvatska akademija za znanost i umjetnost Bosne i Hercegovine, Synopsis. Koprivnica-Mostar-Zagreb
- [23] 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.
- [24] Biggs, J., Von Fumetti, S., & Kelly-Quinn, M. (2017). The importance of small waterbodies for biodiversity and ecosystem services: implications for policy makers. *Hydrobiologia*, 793(1), 3-39.
- [25] Von Fumetti, S., Dmitrović, D. & Pešić, V. (2017) The influence of flooding and river connectivity on macroinvertebrate assemblages in rheocene springs along a third-order river. *Fundamental and Applied Limnology*, 190(3), 251-263.

E

kološki status rijeke Neretve

/

E

cological status of the Neretva river

Mrs. Sanja Duranović

Assis. Sveučilište u Mostaru
sanjadjolo@gmail.com

Josip Primorac

Assis., Sveučilište u Mostaru, FPMOZ
josipprimorac6991@gmail.com

Dr. sc. Svjetlana Stanić-Koštroman

Red. prof. Sveučilište u Mostaru, FPMOZ
svjetlana.stanic.kostroman@fpmoz.sum.ba

Renato Vidić

Assis., Sveučilište u Mostaru, FPMOZ
renato.vidic@fpmoz.sum.ba

Dr. Anđelka Lasić, PhD

Sveučilište u Mostaru
andjelka.lasic@fpmoz.sum.ba

Dr. sc. Anita Dedić

Izv. prof., Sveučilište u Mostaru, FPMOZ
anita.dedic@fpmoz.sum.ba

Dr. Jerko Pavličević, PhD

Sveučilište u Mostaru, APTF
pavlicevicj@gmail.com

Cilj ovog rada je prikazati ekološki status/potencijal rijeke Neretve, temeljen na pregledu bioloških, fizikalno kemijskih i kemijskih čimbenika vode. Svaki element biološke kakvoće vode ovisi o sastavu i brojnosti vrsta unutar zajednica makroskopskih beskralješnjaka, fitobentosa, makrofita, te zajednica riba. Istraživanje rijeke Neretve obavljeno je u lipnju 2018., i 2019. godine. Za uzorkovanje materijala korištene su metode prema europskim standardima (EU Okvirna Direktiva o Vodama). Sve istraživane postaje su pokazale veliku brojnost i raznolikost svojti. Na temelju dobivenih indeksa i mjerenih kemijskih čimbenika vode u skladu s **Odlukom o karakterizaciji površinskih i podzemnih voda, referentnim uvjetima i parametrima za ocjenu stanja voda i monitoring voda** (Službene novine FBiH, br. 1/14) na postajama je zabilježeno dobro ekološko stanje, odnosno maksimalan ekološki potencijal.

Ključne riječi

Ekološki status, rijeka Neretva, makroskopski beskralješnjaci, fitobentos, makrofitska vegetacija, ribe

The purpose of this paper is to present an assessment of the ecological status/potential of the Neretva River, which is actually based on an overview of the biological, physicochemical and chemical conditions. Each element of biological water quality depends on the composition and abundance of species within communities of macroscopic invertebrates, phytobenthos, macrophytes, and fish. The research of the Neretva River was performed in June of 2018, 2019 and 2021. Different sampling methods were used to collect the material. All research sites showed a great number and high diversity of taxa. Based on indices and chemical parameters of water in keeping with **The decision on the characterization of the surface and underground water, reference conditions and parameters for the detection of water state and water monitoring** (Official Gazette FBiH, No. 1/14) good ecological status, or maximum ecological potential has been registered on research sites.

Key words

Ecological status, Neretva River, macroscopic invertebrates, phytobenthos, macrophytes, fish

Rijeka Neretva najduža je pritoka Jadranskog mora, protežući se dužinom od 225 km i pokrivajući površinu od skoro 10.380 km². Iako je cijeli sliv rijeke Neretve pod utjecajem krša, donji tok, od Mostara do ulaza u Republiku Hrvatsku (Doljani), je pod izraženijim utjecajem.

Značajka ovog dijela sliva su: značajan broj snažnih krških izvora (na pritokama i u samom koritu Neretve); dotjecaj vode na izvore sa krških polja – podzemnim tečenjem i dodatni deterministički utjecaji od HE Čapljina (Krupa), HE Peć Mlini (rijeka Trebižat) i HE Mostarsko blato (rijeka Lištica). Praktično sve pritoke rijeke Neretve na ovom, srednjem dijelu sliva dotiču iz krških polja sa lijeve i desne strane toka. U skladu sa Okvirnom direktivom o vodama [1] (WFD, 2000/60/EC) i Odlukom o karakterizaciji površinskih i podzemnih voda, referentnim uvjetima i parametrima za ocjenu stanja voda i monitoring voda [2] (Službene novine FBiH, br. 1/14) ovim radom se predstavlja ekološki status rijeke Neretve na dvije lokacije temeljen na pregledu bioloških, fizikalno-kemijskih i kemijskih čimbenika vode.

Okvirna direktiva o vodama je najznačajniji dio EU legislative o vodi, osmišljen da poboljša i integrira način na koji se upravlja vodnim tijelima diljem Europe, osigura održivo upravljanje, spriječi daljnje uništavanje površinskih i podzemnih voda i osigura dobar status svih vodnih cjelina [3]

Klasifikacija ekoloških stanja vodnih tijela mjeri kvalitetu strukture i funkcija ekosustava i izrađuje se na temelju:

1. bioloških elemenata (gustoća i raznolikost vodenih organizama);
2. hidro-morfoloških elemenata koji podržavaju biološke elemente (dinamika toka, dubina);
3. fizikalno-kemijskih elemenata koji podržavaju biološke elemente (temperaturni režim, koncentracija kisika, salinitet).

Klasifikacija ekološkoga statusa površinskih voda sastoji se od pet klasifikacijskih kategorija za biološke elemente (visok, dobar, srednji, nizak i loš status), i po tri kategorije (visok, dobar i srednji status) za hidro-morfološke i fizikalno-kemijske elemente, a ukupan ekološki status određuje se prema onoj stavci koja je najlošije ocijenjena. Ako je status prema biološkom i fizikalno-kemijskom elementu ocijenjen kao dobar, a prema hidro-morfološkom elementu kao umjeren, ukupan ekološki status bit će ocijenjen kao umjeren. Biološki elementi prikazuju se kao omjer dobivenih vrijednosti parametara u odnosu na referentne vrijednosti. Referentno stanje koje odgovara kategoriji „visokoga ekološkoga stanja“ označava uvjete i raspone parametara koji odgovaraju nepromijenjenim prirodnim uvjetima, ili neznatno promijenjenim uvjetima uslijed antropogenih utjecaja. Procjene stanja istraživanih ekosustava napravljene su u skladu s Odlukom o karakterizaciji površinskih i podzemnih voda, referentnim uslovima i parametrima za ocjenu stanja voda i monitoringu voda (Sl. novine FBiH 01/14), Okvirnom direktivom o vodama te Nacrtom plana upravljanja vodama za vodno područje Jadranskoga mora na području Federacije BiH (tipologija vodnih tijela).

1. Materijal i metode

Terenski dio istraživanja rijeke Neretve proveden je u lipnju 2018. i 2019. godine na postajama, Neretva-Žitomislići i Neretva-Dračevo. Biološki elementi: fitobentos, makrofitska vegetacija, makroskopski beskralješnjaci i ribe uzorkovani su i analizirani prema važećim standardima za pojedine skupine. U isto vrijeme s biološkim elementima kakvoće vode analizirani su i mjereni fizikalno-kemijski i kemijski čimbenici vode. Fizikalno-kemijski čimbenici (pH, električna vodljivost, otopljeni kisik, zasićenost kisikom i temperatura vode) izmjereni su pomoću Hach Sension sonde 156. Uzorci za analize hranjivih soli su rađeni u Zavodu za javno zdravstvo, prema važećim

standardima. Analizirani su sljedeći kemijski čimbenici: KPK, BPK5, nitrati, nitriti, ukupni dušik, ukupni fosfor, ortofosfati i silikati.

1.1. Fitobentos

Uzorci fitobentosa uzimani su sljedeći European Standard EN 13 946 (2014) [1,2] Sa stjenovitog i kamenitog dna uzorci za dijatomeje uzeti su sastrugavanjem materijala (skalpelom i ortodontnom četkicom) s površine kamena. Prikupljeni uzorci fitobentosa (dijatomeje i ostale alge) su na terenu spremljeni u etiketirane bočice i konzervirani 4 % -tnim formaldehidom do daljnje laboratorijske obrade. Nedijatomejske skupine algi uzorkovane su obilazeći cik cak potezima kroz istraživanu postaju. Determinacija dijatomeja obavljena je na trajnim preparatima korištenjem svjetlosnog mikroskopa marke ZEISS (Axio Imager A2) pod različitim uvećanjima objektivna (4x, 10x i 40x). Vrste su određene korištenjem relevantnih znanstvenih i stručnih ključeva, a nomenklatura svojiti usklađena je prema bazi algi (www.algaebase.org).

1.2. Makroskopski beskralješnjaci

Zajednice makroskopskih beskralješnjaka uzorkovane su prema AQEM metodologiji i multi-habitat shemi uzorkovanja, koja obuhvaća prikupljanje materijala (poduzoraka) sa svih mikrostaništa definirane postaje, koja su zastupljena s najmanje 5 % pokrivenosti (20 poduzoraka). Prikupljeni materijal je nakon izolacije na terenu pohranjen je u 80 % EtOH, a daljnja izolacija, determinacija te kvalitativna i kvantitativna analiza materijala obavljena je u znanstveno-istraživačkom laboratoriju „Ruđer Bošković“ Fakulteta prirodoslovno-matematičkih i odgojnih znanosti Sveučilišta u Mostaru. Determinacija je obavljena prema standardnim determinacijskim ključevima za pojedine skupine makroskopskih beskralješnjaka pod stereozoom mikroskopom Olympus SZX10.

1.3. Makrofitska vegetacija

Metodologija uzorkovanja makrofita zasnovana je na Europskom standardu EN14184:2014 (Comité Européen de Normalisation, 2014), [1,2] slijedeći nacionalne protokole uzorkovanja. Uzorkovanje uključuje gaženje po vodi gdje uvjeti omogućuju i cik-cak uzorkovanje u predviđenom smjeru uzvodno duž riječnog toka, obično 100 m dugom odsječku. Za procjenu pokrovnosti na terenu korisila se petostupanjska skala makrofitskih svojti prema IBMR Vaskularne biljke i mahovine određivane su do vrste, a makroalge do roda. Determinacija vrsta je rađena korištenjem relevantne znanstvene literature i ključeva.

1.4. Ribe

Izlov je obavljen akumulatorskim elektroagregatom „Fishtechnique-Austria“. Ihtiološki status vode određen je u skladu s EU Okvirnom direktivom o vodama (*Water Framework Directive 2000/60/EC*) odnosno na temelju metodologije propisane u Odluci o karakterizaciji površinskih i podzemnih voda, referentnim uvjetima i parametrima za ocjenu stanja voda i monitoring voda. Nakon ulova, jedinke su stavljane na led i u hladnjacima transportirane u laboratorij Agronomsko i prehrambeno-tehnološkog fakulteta u Mostaru na daljnju obradu. Ihtimetrom s točnošću od 0,1 mm, ribama je mjerena ukupna dužina tijela (Lt) i ostale mjere potrebne za biometrijsku analizu dok je ukupna masa tijela (W) mjerena tehničkom vagom s točnošću od 0,01 g. Za potrebe eventualnih dodatnih analiza neke su jedinke pohranjivane u 4%-tni formalin. Determinacija riba je rađena korištenjem relevantne znanstvene literature i ključeva. Određena je starosna struktura riba, kao i izračun različitih indeksa za ribe (EFI+, CPUE).

2. Rezultati i rasprava

Fizikalno kemijske i kemijske analize

Prema rezultatima mjerenih i analiziranih fizikalno kemijskih i kemijskih čimbenika vode, za obje postaje utvrđen je maksimalan ekološki potencijal.

2.1. Fitobentos

Na postaji Neretva-Žitomislići u lipnju 2018. godine ukupno su određene 33 svojte fitobentosa. Vrste *Achnanthydium minutissimum* (Kützing) Czarnecki, *Cocconeis pediculus* Ehrenberg, *Diatoma vulgare* Bory i *Navicula radiosa* Kützing bile su najbrojnije. Izračunati saprobni indeks za ovu postaju je 1,82. Postaja pripada II kategoriji kakvoće vode ili betamezosaprobnom stupnju vode.

Na istoj postaji u srpnju 2019. godine određeno je ukupno 40 svojti dijatomeja. Najbrojnije su bile vrste *Gomphonella olivaceum* (Hornemann) Rabenhorst i *Diatoma vulgare* Bory. Izračunati saprobni indeks je 1,67. Postaja pripada I.-II. kategoriji kakvoće vode ili oligo do betamezosaprobnom stupnju vode.

Na postaji Neretva-Dračevo uzorkovanoj u srpnju 2019. godine ukupno je određeno 29 svojti dijatomeja. Vrste *Cocconeis placentula* Ehrenberg, *Diatoma vulgare* Bory, i *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère bile su najbrojnije. Izračunati indeks saprobnosti je 1,82. Postaja pripada II kategoriji kakvoće vode ili betamezosaprobnom stupnju vode.

2.2. Makroskopski beskralješnjaci

Na postaji Neretva - Žitomislići u lipnju 2018. godine ukupno je uzorkovano 285 jedinki unutar 14 svojti makroskopskih beskralješnjaka. Brojnošću je dominirala vrsta *Gammarus balcanicus* Schäferna, 1922 (105 jedinki), dok su najraznovrsnija skupina bili kukci (9

svojti). Indeks saprobnosti za ovu postaju je iznosio $S=1,76$ što ukazuje na vodu oligo do betamezosaprobnog stupnja, odnosno malo opterećenje vode onečišćenjem. Na prisutnost malog organskog onečišćenja ukazale su i vrijednosti biotičkog indeksa ($EBI=8$) te BMWP indeksa ($BMWP=77$).

U srpnju 2019. godine, na istoj postaji uzorkovano je ukupno 145 jedinki makroskopskih beskralješnjaka unutar 10 svojti. Najbrojnije vrste su bile *Caenis luctuosa* (Burmeister, 1839) (74 jedinke) i *Elmis aenea* (Muller, 1806) (50 jedinki). Na temelju kvalitativno - kvantitativne analize zajednica makroskopskih beskralješnjaka indeks saprobnosti za ovu postaju je iznosio $S=1,78$ što ukazuje na malo opterećenje vode onečišćenjem. Također, na prisutnost onečišćenja ukazale su i vrijednosti EBI indeksa ($EBI=7$), BMWP indeksa ($BMWP=50$) te Shannon-Weaverovog indeksa raznolikosti koji je iznosio $H'=1,794$.

U rujnu 2021. godine, na ovoj postaji uzorkovano je ukupno 427 jedinki unutar 15 svojti makroskopskih beskralješnjaka. Najzastupljenija skupina su bili puževi (325 jedinki), dok je najveći broj vrsta zabilježen za razred kukaca (Insecta) s ukupno 10 zabilježenih svojti. Vrijednost indeksa saprobnosti $S=1,75$ je ukazao na prisutnost malog organskog opterećenja vode, što je dodatno potvrđeno vrijednostima biotičkog indeksa ($EBI=8$), BMWP indeksa ($BMWP=87$), te Shannon-Weaverovog indeksa ($H'=1,532$). U srpnju 2019. godine, na postaji Neretva - Dračevo ukupno je uzorkovano 86 jedinki unutar 6 svojti makroskopskih beskralješnjaka. Najbrojnija vrsta je bila *Gammarus balcanicus* Schäferna, 1922 (31 jedinka). Vrijednost indeksa saprobnosti ($S=1,95$) je ukazao na prisutnost organskog onečišćenja i vodu betamezosaprobnog stupnja.

Vrijednosti ostalih indeksa su također ukazale na onečišćenje.

2.3. Makrofitska vegetacija

Na postaji Neretva - Žitomislić zabilježena je 21 svojta unutar 15 porodica, od kojih 15 pripada carstvu Plantae, šest carstvu Chromista. Referentna makrofitska zajednica je *Berula-Agrostis*. Svojta *Berula erecta* je karakteristična za navedenu makrofitsku zajednicu zajedno s vrstama *Mentha aquatica*, *Myosotis scorpioides* te *Veronica* vrstama, koje su ujedno bile i najbrojnije vrste, a od makroskopskih algi dominirala je *Cladophora glomerata*. U istraživanjima makrofita provedenim tijekom 2018. godine vrijednost trofičkog indeksa makrofita IBMR za postaju Žitomislić iznosio je 11,26. i u kategoriji je umjeren. 2019. godine na istoj postaji zabilježeno je 37 svojti unutar 25 porodica, od kojih 23 pripada carstvu Plantae, 14 carstvu Chromista. Referentna makrofitska zajednica je i dalje *Berula-Agrostis*, a neke od najbrojnijih vrsta su očekivano bile pripadnice navedene zajednice *Berula erecta*, *Myosotis scorpioides*, *Mentha aquatica*. Od makroskopskih algi dominiraju vrste iz roda *Cladophora* i *Spirogyra*. Vrijednost trofičkog indeksa makrofita IBMR za ovu postaju iznosio je 11,54. i u kategoriji je umjeren.

Postaja Neretva - Dračevo istraživana je 2019. godine te je zabilježeno 17 svojti unutar 12 porodica, od kojih četiri pripadaju carstvu Plantae, a 13 carstvu Chromista. Najveću pokrovnost imale su vrste *Elodea canadensis* i *Cladophora conglomerata*, a vrijednost trofičkog indeksa za postaju Neretva - Dračevo iznosila je 11,22 i pripada kategoriji umjerenog trofičkog statusa.

2.4. Ribe

Ukupno stanje sliva Neretve temeljem primjene EFI+ indeksa na izabranim postajama, ukazuje na sveukupno vrlo dobro stanje ribljih naselja, uz naznake umjerenih antropogenih utjecaja. Prosječni EFI+ indeks je veći

nego ranijih godina. Međutim, i pored porasta vrijednosti indeksa, klasifikacija neretvanskoga sliva ostaje u kategoriji 2 (vrlo dobra) u pogledu kvalitete ihtiofaune.

Prema dobivenim rezultatima o raznolikosti i brojnosti svojti na obje lokacije zabilježen je velika raznolikost i brojnost svojti svih bioloških elemenata što je u podudarnosti s rezultatima Dedić i sur. (2019) [4]. Prema vrijednostima izračunatih saprobnih indeksa, kao i prema indeksu makrofita postaje su u kategoriji oligo-betamezosaprogno ili beta-mezosaprobnog stanja što ukazuje na manje onečišćenje promatranih vodenih ekosustava. Procjenjujući, odnosno prateći ekološko stanje/potencijal na promatranim lokacijama utvrđen je maksimalan ekološki potencijal.

LITERATURA

- [1] EU, Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, Official Journal of the European Communities L 327, 22.12.2000, Luxembourg, 2000
- [2] Odluka o karakterizaciji površinskih i podzemnih voda, referentnim uslovima i parametrima za ocjenu stanja voda i monitoringu voda. Službene novine FBiH, broj 1/14
- [3] Herceg N, Stanić-Koštroman S, Šiljeg M (2018) Čovjek i okoliš. Sveučilište Sjever, Hrvatska akademija za znanost i umjetnost Bosne i Hercegovine, Synopsis. Koprivnica-Mostar-Zagreb
- [4] A Dedić, T Galić, S Stanić-Koštroman, D Škobić... - Radovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu, 2018. A biological water quality assessment based on phytobenthos and macroinvertebrates at three stations on the Neretva River. Radovi Sumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu

Procjena kvalitete vode rijeke Radobolje

/

Water quality assessment of the Radobolja river

Ivona Čule, mag. ing. chem.

Faculty of Science and Education, University of Mostar
Matice hrvatske bb, Mostar, B&H
ivona.cule@fpmoz.sum.ba

Zlata Grabovac, mag.oecol.

Federal Ministry of Environment and Tourism
Hamdije Čemerlića 2, Sarajevo, B&H
zlata.grabovac@fmoit.gov.ba

Marija Kvesić, mag. chem.

Center of Excellence for Science and Technology-Integration of Mediterranean
Region University of Split, Ruđera Boškovića 31, 21000 Split Croatia
Doctoral study of Biophysics, Faculty of Science
University of Split, Ruđera Boškovića 33, Split, Croatia
mkvesic@unist.hr

U ovom radu proveden je devetomjesečni monitoring fizikalnih, kemijskih i bioloških parametara rijeke Radobolje (Mostar, BiH) na dvije različite mjerne stanice (MS). Mjereni parametri su uključivali: pH, temperaturu, električnu provodljivost, mutnoću, otopljeni kisik, biološku i kemijsku potrošnju kisika, suspendirane tvari, amonijak, fosfate, nitrata, nitrite, sulfate, ukupni dušik, ukupni organski ugljik te klorofil a, E. Coli i fekalne enterokoke. Rezultati ukazuju na smanjenu kvalitetu vode u usporedbi s rezultatima dobivenim u periodu od 2017.-2019. godine. Nadalje, nekoliko parametara nadmašuje vrijednosti maksimalnog ekološkog potencijala prema nacionalnim propisima. Indeks kvalitete vode (MP1-93.92; MP2-96.09) ukazuje na dobro stanje vodnog tijela. Kako bi se održao biodiverzitet i očuvao vodotok, u budućnosti bi se trebao provoditi redovan monitoring.

Ključne riječi

Radobolja, rijeka, monitoring, indeks kvalitete vode

A 9-month study was conducted to assess the variations of physical, chemical and biological parameters of the Radobolja River (Mostar, BiH) at two distant monitoring stations (MS). The monitored data included: pH, temperature, electrical conductivity, turbidity, dissolved oxygen, biochemical and chemical oxygen demand, suspended solids, ammonium, phosphates, nitrates, nitrites, sulphates, total nitrogen, total organic carbon and chlorophyll a, E. coli and faecal enterococci. The obtained results indicate that the water quality (WQ) is reduced when compared to the results obtained in 2017-2019. Moreover, several parameters exceed the limit values for maximum ecological potential (MEP) according to the national regulations. However, the WQ index (MS1 - 93.92; MS2 - 96.09) showed that the WQ is in a good condition. In order to maintain biodiversity and preserve watercourse, regular monitoring should be conducted in the future.

Key words

Radobolja, river, monitoring, WQ index

Rijeka Radobolja izvire ispod brežuljka Mikuljača u naselju Ilići, a ulijeva se u rijeku Neretvu ispod Starog mosta. Od izvora do ušća duga je 7,1 km. U prošlosti je ova rijeka bila pravo blago za grad Mostar i za sve njene građane. Koristila se za natapanje vrtova, ali i za pokretanje mlinica.

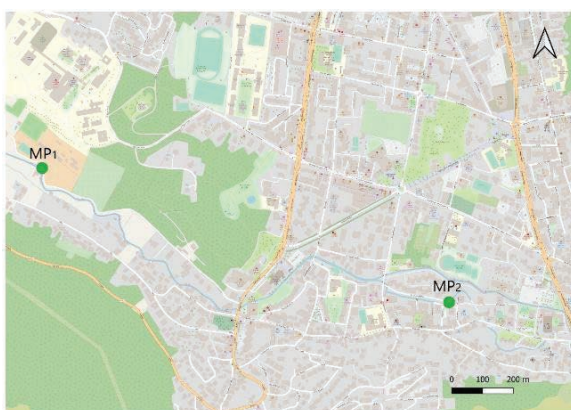
Za vrijeme turske uprave je postojao i vodovod kojim se crpila voda iz Radobolje i na taj način se vodom opskrbljivala zapadna, ali i dio istočne strane grada. U prošlosti je Radobolja obilovala lijepim kupalištima i kroz povijest joj se pridavala ogromna pažnja. Danas to nažalost nije slučaj i sav njen gotovo idilično opisan krajolik je neprepoznatljiv. Posljednjih godina rijeka Radobolja je ponovno u centru pozornosti, ali ne iz istih razloga. Bacanje otpada niz rijeku, širenje neugodnih mirisa te općenita loša slika razlog su za zabrinutost, ali i za ozbiljniju promišljanje o zaštiti plavog blaga grada Mostara [1,2].

Antropogeni utjecaj na vodene ekosustave je sveprimjetan, a posljedica prekomjernog ispuštanja nutrijenata (dušik i fosfor) je pojava eutrofikacije. Cilj ovog rada jeste analizirati različite fizikalne, kemijske i biološke parametre kako bi ispitao antropogeni utjecaj na kvalitetu ekosustava rijeke Radobolje.

1. Metodologija rada

U sklopu projekta "Analiza vode i tla i procjena utjecaja na biodiverzitet" izvršen je devetmesečni monitoring rijeke Radobolje na dvije mjerne postaje (slika 1):

- ▶ Šetalište Bare (MP1)
- ▶ Gradsko naselje Dum (MP2)



Slika 1. Mjerne postaje na rijeci Radobolji

Izvršena je analiza fizikalno-kemijskih i bioloških parametara: pH, temperatura, električna provodljivost, mutnoća, otopljeni kisik, biološka i kemijska potrošnja kisika, suspendirane tvari, amonijak, fosfati, nitrati, nitriti, sulfati, ukupni dušik, ukupni organski ugljik te klorofil a, E. Coli i fekalni enterokoki od kojih su samo neki izdvojeni za ovaj rad.

Uzorkovanje se vršilo svakog mjeseca od veljače do listopada. Uzorak se uzimao iz sredine vodenog stupca, izravno u odgovarajući spremnik, sukladno zahtjevima ovlaštenih laboratorija u kojima su rađene analize. Uzorci za određivanje fizikalno-kemijskih parametara su se sakupljali izravno u čiste, polietilenske boce volumena 2 L dok su se uzorci za mikrobiološku analizu prikupljali u staklene, sterilne boce preuzete iz Zavoda za javno zdravstvo FBiH volumena 0,5 L, a uzorci za određivanje klorofila a u tamne, staklene boce volumena 0,5 L.

1.1. Određivanje ekološkog potencijala

Sukladno nacrtu plana upravljanja vodama za vodno područje Jadranskog mora na području Federacije BiH rijeka Radobolja svrstava se u tip 12a – male i srednje nizinske tekućice. Zbog značajnih hidromorfoloških promjena te kanaliziranog toka, Radobolja pripada kategoriji jako izmijenjenih vodnih tijela te se za ista određuje ekološki potencijal (slika 2) prema Agenciji za vodno područje Jadranskog mora [2].

Ekološki potencijal	El. vod. μScm^{-1}	pH	otopljeni kisik mgO_2/l	BPK ₅ mgO_2/l	KPK-Mn mgO_2/l	amonij mgN/l	nitrati mgN/l	ukupni N mgN/l	ukupni P mgP/l
Maksimalni potencijal	450-550	7.4-8.2	7.0-6.0	3.0-5.0	5.0-6.5	0.11-0.25	0.6-1.5	1.6-2.5	0.10-0.25
Dobar potencijal	550-600	7.4-6.7 8.2-9.0	6.0-5.0	5.1-5.6	6.5-7.5	0.25-0.3	1.5-2.0	2.5-3.0	0.25-0.30
Umišljeni potencijal	>600	<6.7 >9.0	<5.0	>5.6	>7.5	>0.3	>2.0	>3.0	>0.3

Slika 2. Granične vrijednosti parametara za određivanje ekološkog potencijala [2]

1.2. Indeks kvalitete vode

Indeks kvalitete vode (*engl.* Water quality index, WQI) je koristan matematički instrument pomoću kojeg se veći broj podataka može prevesti u jedan broj koji predstavlja razinu kvalitete vode. Iako ne može dati informacije o ukupnom stanju vodnog tijela, ipak se temelji na nekim važnim parametrima koji mogu poslužiti kao jednostavan indikator. Parametri su birani na temelju njihovog značenja u procesu eutrofikacije vodnih tijela i organskog zagađenja.

Na temelju izračunate WQI vrijednosti ispitane vode klasificirane su u pet kategorija od 'izvršne' do 'vode neprikladne za piće' (tablica 1)[3,4].

WQI	Kvaliteta vode
<50	Izvršna
50-100	Dobra
100-200	Loša
200-300	Vrlo loša
>300	Voda neprikladna za piće

Tablica 1. Klasifikacija vode obzirom na WQI indeks [4]

2. Rezultati

2.1. Određivanje ekološkog potencijala

Ekološki potencijal određuje se na osnovu vrijednosti izmjerenih parametara. Ukoliko samo jedan parametar prelazi granične vrijednosti za maksimalni ili dobar potencijal, ekološki potencijal se određuje sukladno istomu.

Na slikama u nastavku (slika 3 i 4) prikazane su vrijednosti za svaki mjesec uzorkovanja te je određen ekološki potencijal na osnovu izmjerenih parametara.

Mjesec	El. vod. μScm^{-1}	pH	Otopljeni kisik mgO_2/L	BPK ₅ mgO_2/l	KPK mgO_2/L	Amonijak mg/l	Nitrati mg/l	Ukupni N mg/l
Veljača	371	8,07	10,93	1,01	/	0,082	0,48	1,54
Ožujak	490	9,12	9,7	1,6	/	0,1	1,03	2,2
Travanj	540	7,95	8,7	0,5	2,22	0,086	1,1	2,34
Svibanj	524	7,99	9,98	1,64	2,1	0,05	0,25	1,13
Lipanj	489	7,96	8,2	2,01	1,95	0,18	2,05	3,72
Srpanj	512	7,72	8,93	3,12	3,8	0,07	1,43	2,78
Kolovoz	524	7,8	8,02	1,62	3,6	0,09	1,65	2,84
Rujan	618	7,94	7,8	2,6	3,62	0,12	1,17	2,6
Listopad	435	8,1	9,4	1,12	2,7	0,07	2,1	2,6

■ Vrijednost parametra odgovara dobrom ekološkom potencijalu

■ Vrijednost parametra odgovara umjerenom ekološkom potencijalu

Slika 3. Izmjerene vrijednosti – MS1

Mjesec	El. vod. μScm^{-1}	pH	Otopljeni kisik mgO_2/L	BPK ₅ mgO_2/l	KPK mgO_2/L	Amonijak mg/l	Nitrati mg/l	Ukupni N mg/l
Veljača	383	8,12	11,09	2,4	/	0,094	0,51	1,7
Ožujak	479	9,24	9,94	2,54	/	0,11	0,98	1,98
Travanj	485	8,13	9,1	0,7	3,3	0,12	1,23	2,8
Svibanj	515	8,23	9,2	1,15	1,9	0,05	0,28	1,37
Lipanj	480	8,11	8,23	2,77	2,42	0,1	1,7	3,1
Srpanj	446	8,4	9,17	2,65	3,22	0,06	0,6	1,72
Kolovoz	490	7,95	8,15	1,14	3,03	0,08	1,02	2,2
Rujan	494	8,02	8,04	2,34	2,9	0,13	2,22	2,9
Listopad	428	8,28	9,5	0,98	2,25	0,09	2,45	3,36

■ Vrijednost parametra odgovara dobrom ekološkom potencijalu

■ Vrijednost parametra odgovara umjerenom ekološkom potencijalu

Slika 4. Izmjerene vrijednosti – MS2

2.2. Ispitivanje mikrobioloških parametara, ukupnog organskog ugljika te klorofila a

Ispitivanje mikrobioloških parametara, ukupnog organskog ugljika te klorofila a izvršeno je tri puta tijekom devetomjesečnog monitoringa (u travnju, srpnju i listopadu), a rezultati su prikazani na slikama 5 i 6.

Mjesec	E. Coli (cfu/100 ml)	Fekalni enterokoki (cfu/100 ml)	Klorofil a ($\mu\text{g/L}$)	Ukupni organski ugljik (mg/L)
Travanj	370	3270	<0,01	3,2
Srpanj	7200	n.d.	23,77	8
Listopad	4000	3900	0,23	<2

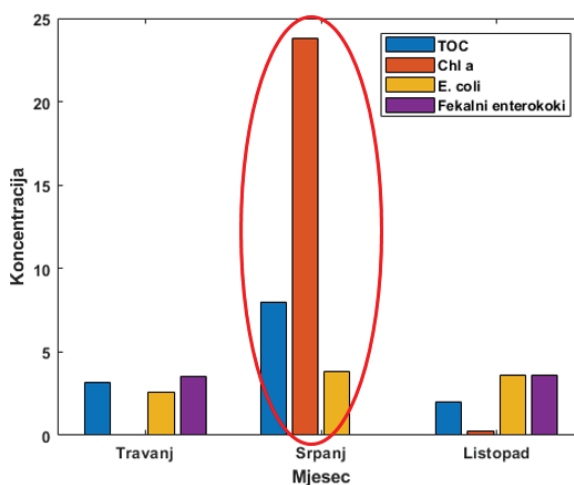
Slika 5. Mikrobiološki parametri, TOC i klorofil a, MS1

Mjesec	E. Coli (cfu/100 ml)	Fekalni enterokoki (cfu/100 ml)	Klorofil a ($\mu\text{g/L}$)	Ukupni organski ugljik (mg/L)
Travanj	290	760	<0,01	2,9
Srpanj	170	n.d.	1,31	3,6
Listopad	5100	670	0,23	<2

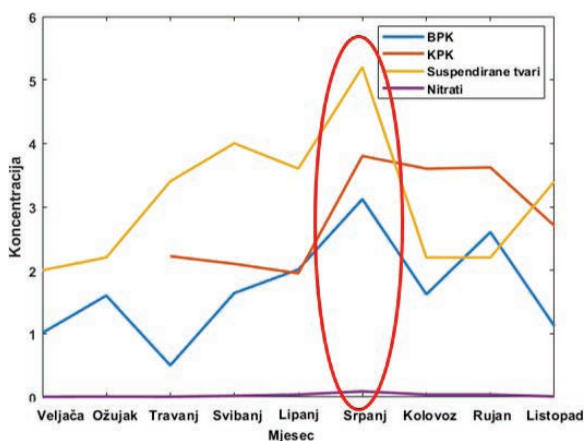
Slika 6. Mikrobiološki parametri, TOC i klorofil a, MS2

2.3. Srpanj – ogledni primjer eutrofikacije

U srpnju su na mjernoj postaji 1 primijećene povećane koncentracije klorofila a, ukupnog organskog ugljika, bakterija, kemijske i biokemijske potrošnje kisika kao i nitrata (slika 7 i 8).



Slika 7. Koncentracije određenih parametara – srpanj (MP1)



Slika 8. BPK, BPK, suspendirane tvari i nitrati, srpanj (MP1)

Prisutnost bakterija ukazuje na dotok netretirane otpadne vode u rijeku Radobolju. Razlog tomu mogu biti poljoprivredna zemljišta, ali i neriješen sustav javne odvodnje otpadnih voda iz kućanstava na područjima u blizini vodotoka.



Slika 11. Srpanj, MP1

Budući da je otopljeni kisik važan faktor za opstanak mnogih živih bića u vodnom sustavu, njegova je koncentracija jedna od najvažnijih parametara za procjenu kvalitete vode. Analizom korelacije parametara primjetno je da nitrati, fosfati, amonijak i ukupni dušik pokazuju snažnu pozitivnu korelaciju, a isto je u negativnoj korelaciji s koncentracijom otopljenog kisika (slika 9). Do negativne korelacije dolazi upravo zbog povećanog dotoka otpadnih organskih tvari uslijed čega može doći do smanjenja koncentracije otopljenog kisika zbog njegove potrošnje za razgradnju organske tvari.

Agencija za vodno područje Jadranskog mora vršila je monitoring rijeke Radobolje u periodu od 2017.- 2019. godine na mjernoj postaji MPo (slika 12.)

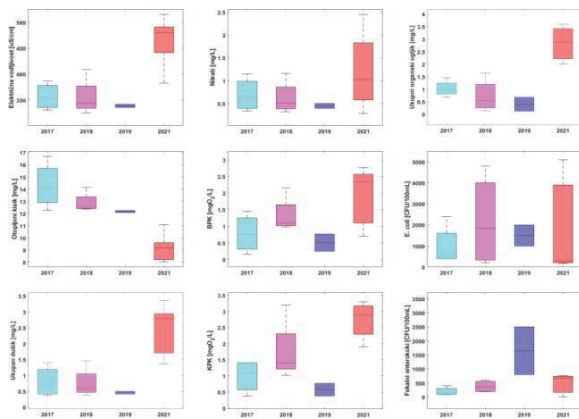


Slika 12. Mjerne postaje uključene projektom (MP1 i MP2 te mjerna postaja Agencije za vodno područje Jadranskog mora (MPo))

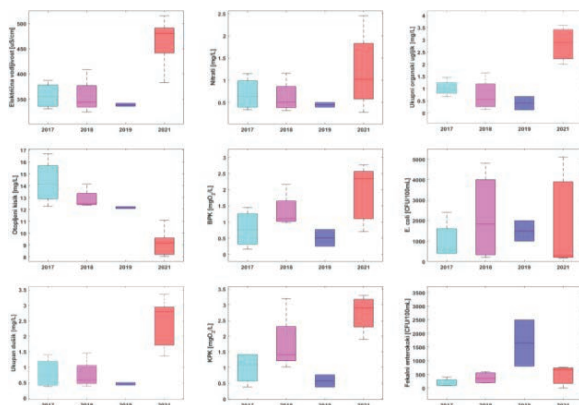
U sklopu ovog projekta izvršena je usporedba vrijednosti pojedinih parametara s vrijednostima izmjerenim u periodu od 2017.-2019. godine, a ista je prikazana u nastavku. Za ovaj prikaz odabrani su sljedeći važni parametri: električna provodljivost, otopljeni kisik, ukupni dušik, nitrati, BPK, KPK, ukupni organski ugljik te mikrobiološka analiza (E. Coli i fekalni enterokoki).

Kada je riječ o prethodnim mjerenjima, primjetan je porast koncentracija većine mjerenih parametara u 2021. godini u odnosu na vrijednosti izmjerene u periodu od 2017.-2019. godine. Usporedbom vrijednosti dobivenih vrijednosti parametara na MP1 s parametrima na MPo (slika 13) došlo je do porasta električne provodljivosti, te koncentracije ukupnog dušika, nitrata, BPK, KPK, ukupnog organskog ugljika te bakterija dok je koncentracija otopljenog kisika manja.

Kad je riječ o usporedbi MP2 i MPo (slika 14), vidljiv je porast električne provodljivosti te koncentracije ukupnog dušika, nitrata, BPK, KPK, organskog ukupnog ugljika dok je koncentracija otopljenog kisika kao i u prethodnom slučaju manja. Koncentracija bakterija je manja ili jednaka vrijednostima dobivenim prethodnim mjerenjima.



Slika 13. Usporedba parametara za MP1



Slika 14. Usporedba parametara MPo i MP2

5. Zaključak

Rijeka Radobolja sukladno rezultatima postiže umjeren do maksimalan ekološki potencijal, a što je dodatno potvrđeno i izračunom indeksa kvalitete vode prema kojem se Radobolja svrstava u rijeku dobre kvalitete. Ipak, antropogeni utjecaj na rijeku je prisutan i potvrđen mjerenjima nutrijenata te fekalnih bakterija tijekom 2021 godine. Nadalje, usporedba koncentracija mjerenih parametara sa vrijednostima izmjerenim tijekom perioda 2017–2019 godine također ukazuje na povećanje pritiska na rijeku Radobolju. Potrebno je nastaviti redovan monitoring kako bi se očuvao vodotok rijeke Radobolje i njen biodiverzitet.

Projekt je financiran od strane Udruge Impetro i Fonda za zaštitu okoliša Federacije BiH.

LITERATURA

- [1] Šarić, S. (2000): Mostarska oaza koje više nema: Radobolja i njena okolica nekad i sad, Most [online] 122/123 dostupno na: Most 122-123 (33-34) - Časopis za obrazovanje, nauku i kulturu- Mostar-BiH-Salko Saric
- [2] Agencija za vodno područje Jadranskog mora: Nacrt plana upravljanja vodama za vodno područje Jadranskog mora na području Federacije BiH, Karakterizacijski izvještaj [online] dostupno na: Prilozi projektne knjige -Elektroprojekt d.d. (jadran.ba)
- [3] Tomas, D., Ćuk R., Senta Marić A., Mijatović (2013) Assesment of the Drava River (Croatia) by water quality index method Fresenius Environmental Bulletin 22(3):904- 913
- [4] Yisa, J., Jimoh, T. (2010.): Analytical Studies on Water Quality Index on River Landzu. American Journal of Applied Sciences, 7(4), 453-458.
- [5] Cisneros Ontiveros H. G., Medellín Castillo
- [6] N. A., Cárdenas Tristán A., Cárdenas M. C., Arturo Ilizaliturri Hernández C., Putri R. F. Determination of the Water Quality Index (NFS WQI) of water bodies in the Huasteca Potosina, Mexico, ICST 2021 - The 2nd Geoscience and Environmental Management Symposium, Virtual conference, Yogyakarta, Indonesia, Edited by Che Omar, R.; Sri Sumantyo, J.T.; White, B.; Cardenas Tristan, A.; Haryono, E.; Hizbaron, D.R.; Putri, R.F.; E3S Web of Conferences, Volume 325, id.08002

Karta erozije Federacije BiH i Brčko distrikta kao podloga za izradu koncepta prevencije bujičnih poplava

/

Erosion map of the Federation of B&H and Brčko district, as the basis for the development of the torrential flood prevention concept

Ratko Ristić, Ph.D.

Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet,
ul. Kneza Višeslava 1, 11000 Beograd
ratko.ristic@sfb.bg.ac.rs

Armin Hadžialić, dipl.ing građ.

Higracon, d.o.o. Sarajevo
ul. Hiseta br. 3, 71000 Sarajevo
armin.hadzialic@nfbproje.com

Siniša Polovina, MSc.

Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet,
ul. Kneza Višeslava 1, 11000 Beograd
sinisa.polovina@sfb.bg.ac.rs

Boris Radić, Ph.D.

Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet,
ul. Kneza Višeslava 1, 11000 Beograd
boris.radic@sfb.bg.ac.rs

Šemsa Imširović, dipl.ing građ.

Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet,
ul. Hiseta br. 3, 71000 Sarajevo
semsa.imsirovic@nfbproje.com

Vukašin Milčanović, Ph.D.

Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet,
ul. Kneza Višeslava 1, 11000 Beograd
vukasin.milcanovic@sfb.bg.ac.rs

Ivan Malušević, MSc.

Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet,
ul. Kneza Višeslava 1, 11000 Beograd
ivan.malisevic@sfb.bg.ac.rs

Prirodne katastrofe ne mogu se spriječiti, ali je moguće ublažiti njihove efekte kroz analizu faktora koji ih proizvode i primjenu specifičnih metodologija za njihovo predviđanje. Bujične poplave su najčešća prirodna katastrofa na prostoru Balkana, kao posljedica pojave ekstremnih padavina u sadejstvu sa erozionim procesima na ugroženim slivovima, što je bilo vidljivo u maju 2014. godine. Osnovna podloga za izradu planske i tehničke dokumentacije jeste Karta erozije, koja sadrži podatke o vrijednostima erozione produkcije (W) i pronosa nanosa (W_p), na odabranim slivovima. Proračuni su obavljeni primjenom MPE (Metod potencijala erozije, odnosno, metod prof. Gavrilovića), u GIS okruženju, korištenjem DEM 100 m rezolucije. Obradena je teritorija 10 kantona Federacije BiH i Distrikta Brčko, na ukupnoj površini od 25.749,66 km². Proračun koeficijenta erozije Z je analiziran samo na površinama koje su izložene djelovanju intenzivnih erozionih procesa (poljoprivredne površine, šume, livade, žbunasta i niska vegetacija, polu-prirodna područja i sl.). Urbanizovana područja sa izraženim učešćem neporoznih površina, rijeke, jezera, vlažna staništa i slično su isključena iz analize.

Na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine i Brčko Distrikta preliminarno je izvojeno 714 slivova, dok je proračun erozione produkcije i pronosa nanosa obavljen na 475 slivova, koji se cijelom svojom površinom prostiru na istraživanom području. Analizirani slivovi imaju površinu u dijapazonu od 10,02 km² do 736,70 km². Najniže kote analiziranih slivova su u rasponu od $K_u=30-1160$ m n.m. Srednje nadmorske visine (H_{sr}) kreću se u opsegu od 84,98-1620,75 m n.m, dok su srednje visinske razlike $D=0,10 - 1309,8$ m. Dužine slivova po glavnom toku variraju u rasponu od $L=5,17-70,87$ km. Prosječna vrijednost koeficijenta erozije Z za cjelokupno istraživano područje iznosi $Z_{sr}=0,23$, što svrstava istraživano područje u kategoriju slabe površinske erozije, sa rasponom vrijednosti koeficijenta $Z=0,006-3,22$. Erozijska je na istraživanom području zastupljena u svim kategorijama razornosti: najveću zastupljenost ima vrlo slaba erozija, odnosno 54,07% od ukupne analizirane površine, slijedi slaba erozija sa 23,94%, srednja sa 18,72%, jaka erozija sa 1,85% i ekscesivna erozija sa 1,42%.

Ključne riječi

Koeficijent erozije, rezolucija DEM, struktura površina, eroziona produkcija, pronos nanosa

Natural disasters cannot be prevented but it is possible to mitigate their effects through the analysis of the factors that produce them and the application of specific methodologies for their prediction. Torrential floods are the most common natural disaster in the Balkans, as a result of extreme rainfall in conjunction with erosion processes in endangered watersheds, which was visible in May 2014. The Erosion Map is the basis for the preparation of planning and technical documentation. It contains data on the values of erosion production (W) and sediment transport (W_p), in selected catchments. The calculations are done by the EPM (Erosion potential method, i.e. the method of Prof. Gavrilović), in a GIS environment, with DEM 100 m resolution. The territory of 10 cantons of the Federation of BiH and the Brčko District was covered, with a total area of 25,749.66 km². The calculation of the erosion coefficient Z was analyzed only in the areas that are exposed to intensive erosion processes (agricultural areas, forests, meadows, shrubs, low vegetation, semi-natural areas, etc.). Urbanized areas with a high share of non-porous surfaces, rivers, lakes, wetlands, and the like are excluded from the analysis.

On the territory of the Federation of Bosnia and Herzegovina and Brčko District, 714 watersheds were preliminarily singled out, while the calculation of erosion production and sediment transport was performed on 475 watersheds, which are entirely located within the study area. The analyzed watersheds have an area in the range from 10.02 km² to 736.70 km². The lowest elevations of the analyzed basins are in the range of $K_u = 30-1160$ m.s.l. Mean altitudes (H_{sr}) range from 84.98-1620.75 m.s.l., while mean altitude differences are $D = 0.10 - 1309.8$ m. The mainstream lengths vary in the range of $L = 5.17-70.87$ km. The average value of the erosion coefficient Z for the entire investigated area is $Z_{sr} = 0.23$, which classifies the study area in the category of slight erosion, with a range of values of the coefficient $Z = 0.006-3.22$. Erosion is represented in the study area with all categories of destructiveness: the most common is very slight erosion (54.07% of the total area), followed by slight erosion with 23.94%, medium with 18.72%, heavy erosion with 1.85%, and excessive erosion with 1.42%.

Key words

Erosion coefficient, DEM resolution, surface structure, erosion production, sediment transport

Prirodne katastrofe ne mogu se spriječiti ali je moguće ublažiti njihove efekte kroz analizu faktora koji ih proizvode i primjenu specifičnih metodologija za njihovo predviđanje. Bujične poplave su rezultat pojave klimatsko-hidroloških ekstrema, a manifestuju se dinamičnim i kompleksnim procesima kretanja vode i nanosa.

Predstavljaju najčešću i najrasprostranjeniju prirodnu katastrofu na globalnom nivou, sa neželjenim ekološkim i ekonomskim posljedicama (Merz et al., 2010). Specifične i varijabilne karakteristike klime i reljefa, geologije terena, pedološkog i vegetacionog pokrivača, ali i promjene socioekonomskih prilika, kao što su migracije stanovništva ili način korištenja zemljišta, stvaraju širok spektar uslova i faktora pojave bujičnih poplava na Balkanskom poluostrvu.

Intenzivne padavine koje su se desile tokom maja 2014. godine, na području Zapadnog Balkana dovele su do izlivanja rijeka iz svojih korita. Ekstremne količine padavina dovele su do izlivanja većeg broja rijeka: Bosne, Drine, Une, Save, Sane, Vrbasa i njihovih pritoka na teritoriji Bosne i Hercegovine. Obilne padavine su također pokrenule brojna klizišta, a slivne površine koje su već bile ugrožene erozijom zemljišta pretrpjele su najveće štete.

Erozija zemljišta je najrasprostranjeniji oblik degradacije zemljišnog prostora širom svijeta (Blanco-Canqui, Lal, 2010; Eswaran et al., 2001), sa izraženim posljedicama na kvalitet životne sredine, i sa negativnim efektom na poljoprivrednu proizvodnju, infrastrukturu i kvalitet voda (Pimentel et al., 1995).

Informacije o eroziji zemljišta i efektima na životnu sredinu su podaci od velikog značaja, ne samo za naučnu zajednicu, već i za različite profile stručnjaka koji se bave upravljanjem prostorom, u državnim institucijama, lokalnim samoupravama i privrednim organizacijama (Merritt et al., 2003). Modeli za procjenu gubitaka zemljišta, usljed djelovanja erozionih procesa i oticaja, predstavljaju osnovno sredstvo pomoću koga je moguće sagledati stepen degradacije nekog područja. Informacije o stepenu degradacije predstavljaju važan parametar pri planiranju mjera za zaštitu zemljišta od erozije.

1. Metoda

Metoda potencijala erozije (MPE) je empirijski model za procjenu gubitaka zemljišta, koja se koristi za izradu Karte erozije, proračune erozije produkcije i pronosa (transporta) nanosa, u inženjersko-projektantskoj i prostorno-planerskoj praksi (Polovina et al., 2016). Ova metoda koristi se i danas u svim zemljama koje su nastale iz SFR Jugoslavije (Srbija, Crna Gora, Makedonija, Bosna i Hercegovina, Slovenija, Hrvatska), kao i u brojnim zemljama Azije, Južne Amerike, Afrike i Evrope (Ristić, 2012; Blinkov, 2015; Globevnik, 2003; Matjaž, 2004; Ouallali, 2016; Spalević, 2014; Bagherzadeh, 2011).

Metoda je razvijena i kalibrisana na osnovu dugogodišnjih terenskih istraživanja, osmatranja i mjerenja, na slivovima SFR Jugoslavije (Gavrilović, 1972). Metoda je namijenjena za determinaciju i kvantifikaciju erozionih procesa na ugroženim područjima. Može se koristiti kao „instrument“ za sve inženjerske probleme u vezi sa erozijom i bujicama u oblasti vodoprivrede, za potrebe vodoprivrednih osnova, studija i projekata.

Metoda potencijala erozije polazi od analitičke obrade podataka o činiocima koji utiču na vrstu i intenzitet erozionih procesa. Kako je erozija prostorna pojava, prikazuje se na karti na osnovu analitički izračunatog koeficijenta erozije (Z), koji ne zavisi od klimatskih svojstava područja, već od karakteristika tla, vegetacionog pokrivača, reljefa i vidljive zastupljenosti erozionih procesa. Koeficijent erozije (Z) dobija se iz sljedećeg izraza (Gavrilović, 1972).

$$Z_{sr} = Y \cdot X \cdot a \cdot (\phi + \sqrt{I_{sr}})$$

Y – recipročna vrijednost koeficijenta otpora zemljišta na eroziju;

X·a – koeficijent uređenja sliva;

ϕ – brojni ekvivalent vidljivih i jasno izraženih procesa erozije na slivu;

I_{sr} – srednji pad sliva.

Vrijednosti se obično kreću od 0,1 do 1,5 i više, tj. od očuvanih, erozijom slabo napadnutih slivova i područja, do slivova koji su ekstremno ugroženi usljed djelovanja erozionih procesa. Te vrijednosti mogu da budu iznad i ispod navedenih granica samo u izuzetnim slučajevima (Gavrilović, 1972).

Koeficijent otpora zemljišta na eroziju (Y) zavisi od geološke podloge, klimatskih uslova i tipova pedoloških tvorevina. Vrijednosti koeficijenta Y su determinisane u laboratoriji i odnose se na otpornost zemljišnih tvorevina i stijena na proces „bombardovanja“ kišnim kapima, kao i djelovanje tekuće vode i eolske erozije.

Koeficijent uređenja sliva ili erozionog područja, odnosi se na zaštićenost zemljišta od uticaja atmosferskih činilaca (padavine, temperaturni ekstremi) i sila erozije u prirodnim uslovima, dejstvom vegetacionog pokrivača (koeficijent X), ili primjenom antierozionih tehničkih, biotehničkih i bioloških radova na slivu, odnosno, ugroženom području (koeficijent „a“).

Koeficijent vidljivih i jasno izraženih erozionih procesa (ϕ) predstavlja brojni ekvivalent vidljivih i jasno izraženih procesa erozije na slivu ili ugroženom području.

Srednji nagib terena (I_{sr}) predstavlja reprezentativan parametar sliva, odnosno erozionog područja ili ugrožene parcele zemljišta, za koju se određuje koeficijent erozije (Z).

Koeficijent erozije, koji je rezultat primjene MPE, predstavlja osnov za daljnje proračune, gdje se uključuju i klimatski činioci, u cilju dobijanja vrijednosti erozije produkcije i

pronosa nanosa. Produkcija erozionog materijala predstavlja ukupnu količinu erodiranog materijala na istraživanom području (slivu), koja je u korelaciji sa reprezentativnom vrijednošću koeficijenta erozije Z .

Na osnovu terenskih i laboratorijskih istraživanja, kao i na osnovu definisanih vrijednosti koeficijenta erozije Z , kreiran je analitički izraz za proračun ukupne produkcije erozionog materijala na slivu.

$$W = T \cdot H_{god} \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \cdot A$$

W – ukupna produkcija erozionog materijala na slivu;

T – temperaturni koeficijent područja

$$(T = \sqrt{\frac{t_{sr}}{10}} + 0.1);$$

t_{sr} – prosječna godišnja temperatura vazduha na slivu [$^{\circ}\text{C}$];

H_{god} – srednja godišnja količina padavina [mm];

π – Ludolfov broj (Arhimedova konstanta) – 3,14;

Z – koeficijent erozije;

A – površina slivnog područja [km^2].

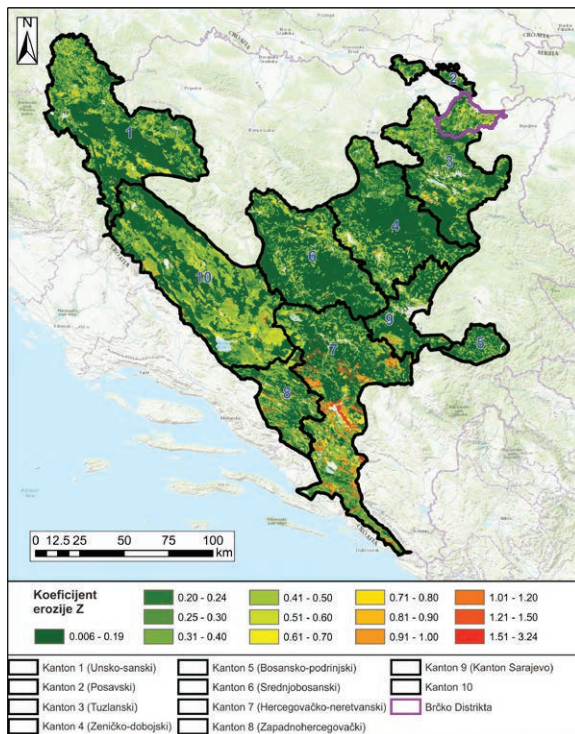
2. Rezultati

Područje istraživanja obuhvata teritoriju 10 kantona Federacije Bosne i Hercegovine i Brčko Distrikta, na ukupnoj površini od 25.749,66 km^2 . Proračun koeficijenta erozije Z je analiziran samo na površinama koje su izložene djelovanju intenzivnih erozionih procesa (poljoprivredne površine, šume, livade, žbunasta i niska vegetacija, polu-prirodna područja i sl.). Urbanizovana područja sa izraženim učešćem neporoznih površina, rijeke, jezera, vlažna staništa i slično su isključena iz analize. U tabeli 1, prikazana je površinska zastupljenost erozionih procesa na istraživanoj teritoriji.

Klasa erozije	Kategorije erozije	Jačina erozionih procesa	Tip vladajuće erozije	Koeficijent erozije Z	km^2	%
1	I-1	Ekscesivna erozija	dubinska	>1,51	55,23	0,21
2	I-2		mješovita	1,21-1,50	122,67	0,48
3	I-3		površinska	1,01-1,20	187,63	0,73
4	II-1	Jaka erozija	dubinska	0,91-1,00	127,93	0,50
5	II-2		mješovita	0,81-0,90	135,47	0,53
6	II-3		površinska	0,71-0,80	212,79	0,83
7	III-1	Srednja erozija	dubinska	0,61-0,70	491,19	1,91
8	III-2		mješovita	0,51-0,60	1339,51	5,20
9	III-3		površinska	0,41-0,50	2990,17	11,61
10	IV-1	Slaba erozija	dubinska	0,31-0,40	3533,2	13,72
11	IV-2		mješovita	0,25-0,30	1476,02	5,73
12	IV-3		površinska	0,20-0,24	1154,28	4,48
13	V-1	Vrlo slaba erozija	tragovi erozije	0,01-0,19	13923,57	54,07
Ukupno					25.749,66	100

Tabela 1. Površinska zastupljenost erozionih procesa na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine i Brčko Distrikta

Vrijednosti koeficijenta erozije Z , na cjelokupnom istraživanom području kreće se u rasponu od 0,006 do 3,22, sa prosječnom vrijednošću $Z_{sr}=0,23$, što svrstava istraživano područje u kategoriju slabe površinske erozije. Prosječna vrijednost koeficijenta erozije Z na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine iznosi $Z_{sr}=0,23$, odnosno, $Z_{sr}=0,28$ za područje Brčko Distrikta. Karta erozije je prikazana u rasterskoj bazi podataka prostorne rezolucije od 100 metara, prema kategorijama razornosti za teritoriju Federacije Bosne i Hercegovine i Brčko Distrikta (slika 1).



Slika 1. Karta erozije Federacije Bosne i Hercegovine i Brčko Distrikta

Najveću zastupljenost ima vrlo slaba erozija, odnosno 54,07% od ukupne analizirane površine. Ukupna analizirana površina koja je podložna erozionim procesima iznosi 25.749,66 km², odnosno 96,91% od ukupne površine Federacije Bosne i Hercegovine i Brčko Distrikta. Kategorija slabe erozije (posmatrajući sva tri tipa vladajuće erozije), predstavlja drugu kategoriju koja je dominantna na istraživanom području i zauzima ukupnu površinu od 6163,50 km², odnosno

23,94% od ukupne površine. Kategorija srednje erozije koja je također zastupljena sa sva tri eroziona tipa (dubinski, mješoviti i površinski tip) zauzima površinu od 4820,87 km², odnosno 18,72%. Procesu dubinskog, mješovitog i površinskog tipa iz kategorija jake erozije zauzimaju površinu od 476,19 km², odnosno 1,85% od ukupne analizirane površine. Kategorija ekscesivne erozije zauzima površinu od 365,53 km², odnosno 1,42% od ukupne analizirane površine koja je podložna erozionim procesima.

Kantona	Z_{min}	Z_{max}	Z_{mean}
Tuzlanski kanton	0,008	1,725	0,195
Zeničko-dobojski kanton	0,007	1,648	0,151
Hercegovačko-neretvanski kanton	0,006	2,496	0,335
Zapadnohercegovački kanton	0,009	2,078	0,291
Unsko-sanski kanton	0,008	1,656	0,202
Posavski kanton	0,008	0,812	0,231
Srednjobosanski kanton	0,006	1,811	0,157
Kanton Sarajevo	0,009	1,934	0,175
Bosansko-podrinjski kanton	0,010	1,594	0,155
Kanton 10	0,007	3,245	0,268

Tabela 2. Vrijednosti koeficijenta erozije Z na kantonima Federacije Bosne i Hercegovine

Primjenom Geografskog Informacionog Sistema, proračun koeficijenta erozije Z je izračunat i analiziran na nivou kantona. Analiza koeficijenta erozije je izvršena na svih 10 kantona, gde je u tabeli 2. prikazana minimalna, maksimalna i prosječna vrijednost koeficijenta erozije Z . Prosječne vrijednosti koeficijenta erozije na kantonima kreću se u dijapazonu od 0,15 do 0,34. Svi kantoni se prema prosječnoj vrijednosti svrstavaju u kategoriju vrlo slabe i slabe erozije.

Koeficijent erozije, koji je rezultat primjene MPE, predstavlja osnov za daljnje proračune, gdje se uključuju i klimatski činioci, u cilju dobijanja vrijednosti erozije produkcije nanosa. Produkcija erozionog materijala predstavlja ukupnu količinu erodiranog materijala na istraživanom području, koja je u korelaciji sa reprezentativnom vrijednošću koeficijenta erozije Z . Na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine i Brčko Distrikta, ukupna godišnja produkcija erozionog materijala iznosi $W=14.067.952,19 \text{ m}^3$, a izraženo po jedinici površine $W_p=546,57 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{god}^{-1}$.

Ukupna godišnja produkcija erozionog nanosa i specifična eroziona produkcija po jedinici površine je proračunata i na nivou kantona Federacije Bosne i Hercegovine i Brčko Distrikta, prikazane su u tabeli 3.

	W (m^3)	W_p ($\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{god}^{-1}$)
Tuzlanski kanton	374,48	938.401,57
Zeničko-dobojski kanton	284,02	921.801,03
Hercegovačko-neretvanski kanton	1.052,22	4.420.654,21
Zapadno-hercegovački kanton	728,55	957.560,19
Unsko-sanski kanton	487,06	2.008.159,06
Posavski kanton	397,38	113.148,72
Srednjobosanski kanton	306,2	961.830,54
Kanton Sarajevo	339,31	401.392,21
Bosansko-podrinjski kanton	285,53	140.481,46
Kanton 10	613,79	2.941.459,28
Brčko Distrikt	577,75	263.374,41

Tabela 3. Vrijednosti ukupne godišnje produkcije erozionog nanosa i specifična eroziona produkcija po jedinici površine

Delineacija slivnih površina predstavlja jednu od aktivnosti tokom procesa proračuna erozije produkcije, odnosno proračuna količina erozionog materijala koja dopijeva do hidrografske mreže (vodotokova). Da bi se proračunala količina erozionog materijala koja dopijeva do hidrografske mreže, definisane su osnovne fizičko-geografske karakteristike izdvojenih slivnih površina na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine i Brčko Distrikta. Fizičko-geografske karakteristike su značajan pokazatelj osnovnih svojstava slivnih površina (slivova). Koriste se kao osnovni parametri za preciznu identifikaciju određenog sliva (površina; obim; dužina i dr.), ili kao osnovni ulazni podaci u jednačinama za proračun erozije produkcije i pronosa nanosa. Na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine i Brčko Distrikta preliminarno je izdvojeno 714 slivova, dok će se daljnje analize (proračun erozije produkcije i pronosa nanosa) vršiti na 475 slivova, koji se cijelom svojom površinom prostiru na istraživanom području. Slivovi koji su determinisani na istraživanoj teritoriji pripadaju vodnim područjima rijeke Save i Jadranskog mora.

Analizirani slivovi imaju površinu u dijapazonu od $10,02 \text{ km}^2$ do $736,70 \text{ km}^2$. Najniže kote analiziranih slivova su u rasponu od $K_u=30-1160 \text{ m n.m.}$ Srednje nadmorske visine (H_{sr}) kreću se u opsegu od $84,98-1620,75 \text{ m n.m.}$, dok su srednje visinske razlike $D=0,10-1309,8 \text{ m.}$ Dužine slivova po glavnom toku variraju u rasponu od $L=5,17-70,87 \text{ km.}$

Srednje vrijednosti koeficijenta erozije Z , na izdvojenim slivnim površinama, kreću se u rasponu od $Z_{sr}=0,03$ do $Z_{sr}=0,36$. Na slivnim područjima rijeka Radobolja ($Z_{sr}=0,81$), Pristetak ($Z_{sr}=0,56$) i Plocnik ($Z_{sr}=0,53$) zabilježene su najveće srednje vrijednosti koeficijenta erozije Z . Najmanje srednje vrijednosti koeficijenta erozije Z se javljaju na slivovima rijeka Krabanja ($Z_{sr}=0,03$), Srebrnica ($Z_{sr}=0,03$) i Bebroštica ($Z_{sr}=0,03$). Specifična godišnja

produkcija erozionog materijala na izdvojenim slivnim površinama kreće se u rasponu od $W_p=20,47 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{god}^{-1}$ do $W_p= 3.318,81 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{god}^{-1}$. Ukupna produkcija erozionog materijala i na izdvojenim slivnim površinama kreće se u rasponu od $W=274,72 \text{ m}^3$ do $W=514.729,12 \text{ m}^3$ godišnje.

3. Zaključak

Erozija zemljišta je globalno rasprostranjena pojava koja negativno utiče na različite prirodne i antropogeno izmijenjene ekosisteme (poljoprivredne, šumske, pašnjačke, riječne i dr). Realna kvantifikacija gubitaka zemljišta jedan je od najvećih izazova u procesu upravljanja prostorom i osjetljivim prirodnim resursima pri čemu je posebno svrsishodna primjena geostatističkih modela. Za potrebe izrade Karte erozije Federacije Bosne i Hercegovine i Brčko Distrikta korištena je Metoda potencijala erozije koja je razvijena za teritoriju bivše SFR Jugoslavije. Prema ovoj metodi, na istraživanom području najveću prostornu zastupljenost ima vrlo slaba erozija (54,07%), zatim slaba (23,94%), srednja (18,72%), jaka (1,85%) i ekscesivna erozija (1,42%) Na Hercegovačko-neretvanskom i Zapadnohercegovačkom kanton Federacije Bosne i Hercegovine zabilježene su najveće vrijednosti specifične godišnje produkcije erozionog materijala. Zahvaljujući ovoj bazi podataka teritorija Federacija Bosne i Hercegovine i Brčko Distrikta, postaje jedna od rijetkih država bivše države SFR Jugoslavije, koja posjeduje Kartu erozije.

LITERATURA

- [1] Bagherzadeh, A. & Daneshvae, M.R.M. (2011). Sediment yield assessment by EPM and PSIAC models using GIS data in semi-arid region. *Frontiers of Earth Science*, 5(2), 207-216.
- [2] Blanco-Canqui, H., & Lal, R. (2010). Soil and Water Conservation. In *Principles of soil conservation and management* (pp. 1-19). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8709-7_1
- [3] Blinkov, I. (2015): Review and comparison of water erosion intensity in the Western Balkans and the EU countries, *dishes*, Department of naturally – mathematical and biotechnical teachings, MANU, the 36, no. 1, p. 27-42.
- [4] Eswaran, H., Lal, R., Reich, P. F. (2001). Land degradation: An overview. In *Response to Land Degradation* (Vol. 16). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429187957-4>
- [5] Gavrilović, S. (1972): Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji, Izgradnja, Specijalno izdanje, Beograd.
- [6] Globevnik, L.; Holjević, D.; Petkovček, G.; Rubinić, J. (2003): Applicability of the Gavrilović method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques, *Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques* (Proceedings of symposium HS01 held during IUGO2003 at Sapporo. July 2003). IAHS Publ. no. 279, Sapporo.
- [7] Matjaz, M.; Globevnik, L. (2004): Soil erosion and land use changes in the Dragonja River basin, Slovenia, *Local Land & Soil News* No.10-11 II / III / 04
- [8] Merritt, W. S., Letcher, R. A., Jakeman, A. J. (2003). A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software*, 18(8), 761-799. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00078-1](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00078-1)
- [9] Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., Thielen, A. (2010). Review article "Assessment of economic flood damage." *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(8), 1697-1724. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-1697-2010>
- [10] Ouallali, A.; Spalević, V.; Aassoumi, H.; Moukhchane, M.; Berrad, F. (2016): The Assessment of Soil Erosion Intensity and Runoff in the River Basin of ArbaaAyacha, Western Rif. Morocco, *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 6, Issue 11
- [11] Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R. (1995). Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. *Science*, 267(5201), 1117-1123. <http://www.jstor.org/stable/2886079>

- [12] Polovina, S., Radić, B., Ristić, R., Milčanović, V. (2016). Spatial and temporal analysis of natural resources degradation in the Likodra River watershed. *Glasnik Šumarskog fakulteta*, 114, 169-188 PT-Article. <https://doi.org/10.2298/GSF1614169P>
- [13] Ristić, R., Ljujić, M., Despotović, J., Aleksić, V., Radić, B., Nikić, Z., Milčanović, V., Malušević, I., Radonjić, J. (2013). Reservoir sedimentation and hydrological effects of land use changes- case study of the experimental Dičina river watershed. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8(1), 91-98.
- [14] Spalević, V.; Raičić, B.; Đeković, V.; Anđelković, A.; Ćurović, M. (2014): Calculation of soil erosion intensity and runoff of the Lapnjak watershed, Polimlje, Montenegro, *Agriculture and Forestry*, Vol. 60. Issue 2: 261- 271, Podgorica

SWOT analiza implementacije novouopotrijebljenih apsorbera za uklanjanje ostataka pesticida iz tokova otpadnih voda

/

SWOT analysis of implementation of newly utilized adsorbents for removal of pesticide residues from wastewater streams

Mladenka Novaković, Ph.D.
in Environmental Engineering

Faculty of Technical Sciences
Trg Dositeja Obradovica 6, Novi Sad
mladenkanovakovic@uns.ac.rs

Maja Petrović, Ph.D.
in Environmental Engineering

Faculty of Technical Sciences
Trg Dositeja Obradovica 6, Novi Sad
majadjogo@uns.ac.rs

Ivana Mihajlović, Ph.D.
in Environmental Engineering

Faculty of Technical Sciences
Trg Dositeja Obradovica 6, Novi Sad
ivanamihajlovic@uns.ac.rs

Jovana Topalić Marković, M.Sc.
in Environmental Engineering

Faculty of Technical Sciences
Trg Dositeja Obradovica 6, Novi Sad
jovanatopalic90@uns.ac.rs

Vladimir Mučenski, Ph.D.
in Environmental Engineering

Faculty of Technical Sciences
Trg Dositeja Obradovica 6, Novi Sad
mucenskiv@uns.ac.rs

Široka lepeza hemikalija kao što su pesticidi se koristi u poljoprivredi, akvakulturi, hortikulturi i domaćinstvu. Primena ovih aktivnih sastojaka ima brojne prednosti; međutim, njihov kontinuirani unos kroz različite ekološke mehanizme kao što su oticanje, ispiranje i podzemna drenaža u vodotocima može odgovarati potencijalnim rizicima po životnu sredinu i zdravlje. Ostaci pesticida su visoko stabilni pri vrlo niskim koncentracijama i definisani su kao zagađivači u nastajanju. Detaljno istraživanje adsorpcionog tretmana za uklanjanje odabranih pesticida obavljeno je u laboratorijskoj skali, što je uključivalo optimizaciju glavnih parametara kao što su početna koncentracija pesticida i aktivnog uglja, pH vrednost vodenog medija i vreme početnog tretmana. Glavni cilj ove studije bio je da se analizira potencijalna primena novorazvijenih jeftinih adsorbenata za uklanjanje ostataka pesticida u stvarnim sistemima postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. Istraživanje i upotreba jeftinih adsorbenata dobijenih termohemijskom konverzijom lignoceluloznog otpada implicira bolje mogućnosti u upravljanju sistemom za prečišćavanje vode. Performanse, konkurencija, rizik i trenutni i budući potencijal procesa tretmana na bazi adsorbenata proizvedenih od otpadaka kafe i koštice datule određeni su SWOT analizom (snaga, slabost, mogućnosti i pretnje).

Ključne riječi

Upravljanje otpadnim vodama, pesticidi, SWOT analiza, jeftini adsorbenti

A wide array of chemicals such as pesticides is used for agriculture, aquaculture, horticulture and household purpose. The implementation of these active ingredients has numerous advantages; however, their continuous input through different environmental mechanisms such as run-off, leaching and sub-surface drainage in water streams can correspond to potential environmental and health risks. Pesticide residues are highly stable at very low concentration levels, and they are defined as emerging pollutants. The detailed research in adsorption treatment for the removal of selected pesticides was performed on a laboratory scale, which included optimisation of main parameters such as initial concentration of pesticides and activated carbons, pH value of water media and initial treatment time. The main objective of this study was to analyse the potential applications of newly developed low-cost adsorbents for the removal of pesticide residues in real wastewater treatment plant systems. The investigation and usage of low-cost adsorbents obtained by the thermochemical conversion of lignocellulosic waste implies better opportunities in the management of water treatment system. The performance, competition, risk and current and future potential of treatment processes based on adsorbents produced from coffee waste and date stone were determined by SWOT (Strength, Weakness, Opportunities and Threats) analysis.

Key words

Wastewater management, pesticides, SWOT analysis, low-cost adsorbents

Pesticides are highly stable at very low concentration levels (several micrograms to nanograms per litre) due to their continuous input into different water compartments. Emerging micropollutants represent specific group of various pollutants characterized by unique properties such as pseudo-persistent phenomena, bioaccumulation, ecotoxicological effects and biomagnification. Permanent introduction to water streams may influence on chemical and ecological quality of recipients [1].

The distribution of pesticide residues between environmental compartments such as soils, surface and groundwater is very complex phenomena. The environmental fate of pesticides depends on many biological, physical and chemical processes which include transformation, transfer and transport mechanisms [2].

Transformation process implies chemical and biological modification of pesticides into transformation intermediates or their complete degradation. The transfer mechanisms include distribution between solids and liquids or gasses, while transport encompass leaching from soil to ground water or runoff to surface water, agricultural stormwater discharges and return flow from irrigated fields [3].

Conventional treatment technologies are not suitable for removal of specific organic contaminants. This can be explained by the fact that wastewater is a complex medium loaded with wide range of emerging pollutants.

A diverse type of treatments such as coagulation, ozonisation, reverse osmosis and advanced oxidation processes were explored to remove organic pollutants from different types of wastewaters. A main drawback of analysed treatments involves high investment and operational costs [4].

Solid adsorbents are widely explored as material in adsorption processes for removal of a wide range of organic contaminants. The main advantages of adsorption are simple design and low investment costs. Many low-cost materials such as natural materials, agricultural wastes and industrial wastes can be used as alternative adsorbents. Accumulation of pesticides on agricultural adsorbents as special type of biosorbents is mostly achieved during interactions with the hydroxyl and carboxyl groups in polysaccharides and lignin. Activated carbon produced from these materials can be used as adsorbent for water and wastewater treatment. Alternative adsorbent generated from agriculture waste can represent a great potential in wastewater treatment and substitution for commercial adsorbent which distinguishes a very high price.

Carbendazim represents micropollutant which is the most frequently detected in different wastewater streams. Due to the slow rate of degradation and low solubility in water, carbendazim interacts with soil colloids and may stay for a long time in an immobilized status in the soil. Linuron has been classified as toxic to reproduction and carcinogenic. Isoproturon is a worldwide used phenylurea herbicide for control of annual grass and broadleaved weeds in cereal crops [5].

SWOT analysis represents a strategic planning technique with aim to provide useful inputs about Strength, Opportunities, Weakness and Threats of analysed process. It determines external and internal issues which can represent advantages or disadvantages of application of proposed treatment [6].

The objective of this research was to provide a detailed and comprehensive study of suitability of newly developed adsorbent for removal of selected pesticides – carbendazim, linuron and isoproturon from wastewater streams.

1. Material and methods

Numerous experimental studies (influence of main operational parameters) have been conducted on laboratory scale to determine the adsorption potential of newly synthesized adsorption materials from spent coffee grounds and date seed for pesticide removal. These experiments included examination of main operational parameters such as pH value, initial concentration of adsorbents and target pesticides and treatment time.

In addition, regeneration and reusability studies were performed. The possibility of reuse of activated carbon can be evaluated based on desorption degree of target pesticides after the remediation and the efficiency of regenerated activated carbon. Three conducted adsorption-desorption cycles showed satisfactory level of removal of selected pesticide micropollutants.

1.1. Preparation of analysed adsorbents

Modification of waste produced from coffee grounds (SCG) and date seeds (DSAC) into adsorbents included several steps: washing to remove impurities, 24h drying in oven, grinding to fine particles and impregnation with phosphoric acid for 24h. The impregnated samples were washed with hot distilled water several times till the pH values are 4.5 to 5 and dried at 110 °C for 24 h. At the end samples were annealed in furnace at high temperature (600 °C) for one hour [5].

According to obtained results, alternative adsorbents produced from lignocellulosic waste have exhibited to be efficient for removal of pesticides.

Although adsorbents have proven to be potential solutions for commercial adsorbents in terms of economic viability and efficiency,

it is necessary to perform a detailed analysis of the possibility of implementation in real wastewater treatment systems.

2. Results and discussion

The investigation and usage of low-cost adsorbents, obtained by thermochemical conversion of lignocellulosic waste implies better opportunities in management of water treatment system.

The performance, competition, risk, and current and future potential of treatment process based on adsorbents produced from coffee waste and date stone can be determined by SWOT (Strength, Weakness, Opportunities and Threats) analysis. SWOT analysis is summarized in Figure 1.

The strengths of those alternative adsorbents are in the fact that they are affordable, low cost and effective. The everyday consumption of coffee drinks and dates leads to the generation of spent coffee grounds and date stones as waste. If those types of waste are not well managed, they could cause toxic

and unpleasant vapor and environmental pollution.

Also, the efficiency of treatment process, with high removal rates supports the strength to usage of low-cost biosorbents.

Opportunities on the usage of SCG and DSAC adsorbents are economical, according to the reduced cost of treatment process as environmentally friendly since the waste materials are used as adsorbents.

The modification of proposed adsorbents results to improvement of their physico-chemical properties for efficient removal of selected pollutants as well as their change into marketable products.

The low-cost adsorbents, such as SCG and DSAC can replace the high-cost treatment system based on conventional methods and commercial adsorbents. The weakness is based on the consumption of phosphoric acid for modification and regeneration of sorbents. The regeneration processes of selected adsorbents are effective for three

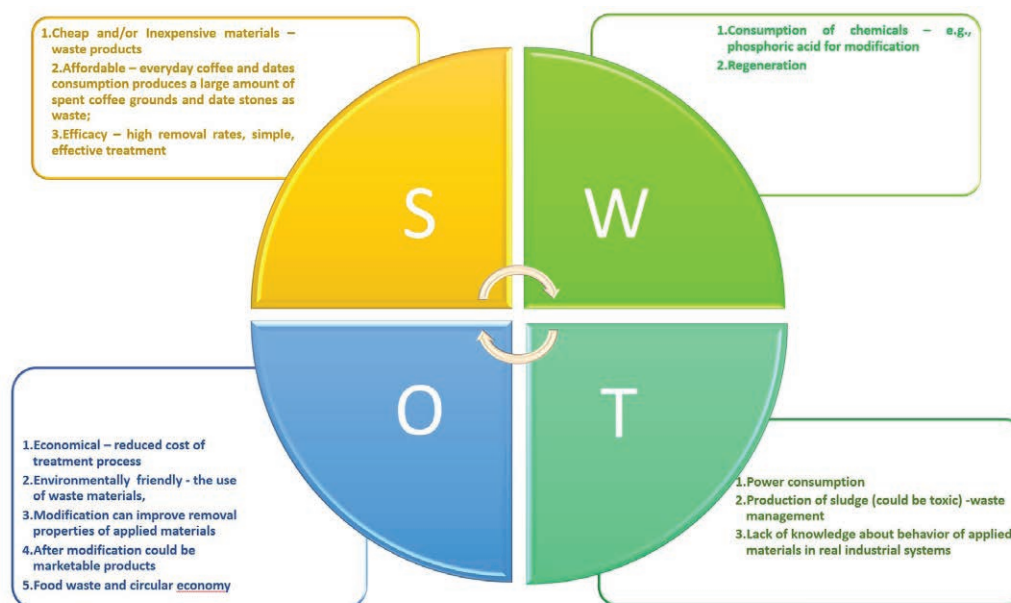


Figure 1. SWOT analysis of analysed adsorbents

to five times, after which sorbent saturation is achieved and the removal efficiency of pollutants is reduced. Therefore, the threat is generation of sludge which could be toxic and requires proper waste management. Additionally, there is a lack of experience and knowledge about testing materials with real industrial effluents.

Technical applicability/implementation in real systems, simplicity of the operation and low-cost effectiveness, as well as environmental protection are the key factors which determine the suitable treatment process.

3. Conclusions

Based on the SWOT analysis, it could be concluded that the low-cost adsorbents based on lignocellulosic waste have promising opportunities in water treatment processes and management.

The future analysis needs to take into consideration PEST (Political, Economic, Social, Technology) analysis together with SWOT analysis to get better information of implementation possibilities of suggested adsorption for successful and efficient treatment in real industrial systems.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research (paper) has been supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development through project no. 451-03-68/2022-14/ 200156 "Innovative scientific and artistic research from the FTS (activity) domain".

REFERENCES

- [1] Le T.D.H., Scharmüller A., Kattwinkel M., Kühne R., Schüürmann G., Schäfer R.B. Contribution of waste water treatment plants to pesticide toxicity in agriculture catchments, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 145, pp. 135-141, November 2017.
- [2] Whitford F., Wolt J., Nelson H., Barret M., Brichford S., Turco R. Pesticides and water quality principles, policies, and programs, *Purdue University Cooperative Extension Service*, West Lafayette, pp. 3-35, 1995.
- [3] Kruć-Fijałkowska R., Dragon K., Drożdżyński D., Górski J. Seasonal variation of pesticides in surface water and drinking water wells in the annual cycle in western Poland, and potential health risk assessment, *Scientific Report*, February 2022.
- [4] Rashed M.N. Adsorption Technique for the Removal of Organic Pollutants from Water and Wastewater, *Organic Pollutants - Monitoring, Risk and Treatment*, pp. 168-194, IntechOpen, March 2013.
- [5] Hgeig A., Novakovic M., Mihajlovic M. Sorption of carbendazim and linuron from aqueous solutions with activated carbon produced from spent coffee grounds: Equilibrium, kinetic and thermodynamic approach, *Journal of Environmental Science and Health Part B*, Vol. 54, No. 4, pp. 226-236, January 2019.

Povezanost prisustva legionella spp. u sistemu vodosnabdjevanja stomatoloških stolica sa starošću objekata u kojem su stomatološke ordinacije smještene

/

Relationship between the presence of legionella spp. in the water supply system of dental chairs with the age of the facilities in which the dental offices are located

Dr.sc. Amar Žilić, dipl.san.ing.

Fakultet zdravstvenih studija
Univerzitet u Sarajevu
Stjepana Tomića 1, Sarajevo, BiH
amar.zilic@fzs.unsa.ba

Mr. Eldina Smječanin, dipl.san.ing.

Fakultet zdravstvenih studija Univerzitet
u Sarajevu
Stjepana Tomića 1, Sarajevo, BiH
eldina.smjecanin@fzs.unsa.ba

Prof.dr. Zarema Obradović

Fakultet zdravstvenih studija
Univerzitet u Sarajevu
Stjepana Tomića 1, Sarajevo, BiH
zarema.obradovic@fzs.unsa.ba

Mr. Ema Pindžo, dipl.san.ing.

Fakultet zdravstvenih studija Univerzitet
u Sarajevu
Stjepana Tomića 1, Sarajevo, BiH
ema.pindzo@fzs.unsa.ba

Uvod: Legionele su ubikvitarne bakterije koje nakon unošenja preko disajnih organa u organizmu ljudi dovode do nastanka oboljenja, legioneloza, od kojih neka mogu biti i smrtonosna. Već dugo je poznato da se legionele mogu naći i u vodnim sistemima stomatoloških stolica, a zbog korištenja instrumenata kao što su štrcaljke, turbine i bušilice velike brzine, aerosoli s *Legionella spp* iz stomatološke jedinice može se raspršiti u usta pacijenta, eventualno udahnuti ili proširiti u prostoriju u kojoj stomatolog i stomatološko osoblje mogu inhalirati aerosole. Istraživanja pokazuju da je veće prisustvo *Legionella spp.* u vodi stomatoloških stolica koje se nalaze u starijim objektima u odnosu na objekte novije gradnje.

Ciljevi istraživanja: Cilj rada je utvrditi prisustvo *Legionella spp.* u vodi stomatoloških stolica u odnosu na starost objekta u kojem su smještene stomatološke ordinacije.

Materijal i metod: Presječno istraživanje u kome su anonimno anketirani uposlenici o starosti objekata u kojima se nalaze stomatoloških stolica. Također su uzimani uzorci vode koji su ispitivani na prisustvo legionela.

Rezultati: Rezultati analiza vode uzetih iz stomatoloških stolica pokazala su da znatno veći broj pozitivnih nalaza uzoraka vode na *Legionella spp.* imaju stomatološke stolice koje se nalaze u starijim objektima u odnosu na objekte novije gradnje. Najveći broj pozitivnih uzoraka na *Legionella spp.* je bio u objektima starosti 50 i više godina, čak 42,9%. Ovo je veoma važna činjenica jer pokazuje u kojim je ordinacijama veći potencijalni rizik za nastanak legioneloza.

Zaključak: Legionele su čest kontaminat vode u stomatološkim stolicama te postoji objektivni rizik za nastanak legioneloza kako kod pacijenata tako i kod zaposlenih u stomatološkim ordinacijama te je neophodno dosljedno provoditi mjere preventivne mjera za smanjenje rizika od legioneloza koje imaju za cilj izbjeći stvaranje pogodnih uslova za razmnožavanje legionella.

Ključne riječi

Legionella spp., stomatološke ordinacije, sistemi za vodosnabdijevanje stomatoloških stolica

Introduction: *Legionella spp.* are ubiquitous bacteria which, after inhalation through the respiratory system can cause diseases called legionellosis, some of which can be deadly. It has been long known that legionella can also be found in dental unit water systems (DUWS). Use of instruments such as air and water syringes, high-speed turbines and drills in contaminated DUWS, forms aerosols with *Legionella spp.* which can be sprayed into the patient's mouth, possibly inhaled or expand into a room where dental staff can also inhale these aerosols. Studies show higher presence of *Legionella spp.* in dental chairs water sampled from older buildings compared to newer buildings.

Aims of research: The aim of this study was to determine the presence of *Legionella spp.* in water of dental chairs in relation to the age of the facility in which the dental offices are located.

Material and methodes: Cross-sectional research in which employees were anonymously asked about the age of the facilities in which the dental chairs are located. Water samples were also taken and tested for the presence of legionella.

Results: The results of water analyzes taken from dental chairs showed that a significantly higher number of positive findings of *Legionella spp.* in water samples have dental chairs located in older buildings compared to newer buildings. The largest number of positive samples of *Legionella spp.* was in objects aged 50 and over, 42.9%. This is a very important fact because it shows in which dental offices the potential risk of developing legionellosis is higher.

Conclusion: *Legionella* is a common contaminant of water in dental chairs and there is an objective risk of legionellosis in patients and employees of dental offices, and it is necessary to consistently implement preventive measures to reduce the risk of legionellosis to avoid creating favorable conditions for legionella reproduction.

Key words

Legionella spp., dental offices, DUWS

Legionella spp. su grupa aerobnih, gram negativnih bakterija iz porodice Legionellaceae. Najrasprostranjeniji sojevi iz ove porodice su: Legionella pneumophila, L. micdadei, L. bozemanii, L. dumoffii i L. longbechae od kojih L. pneumophila najčešće izaziva infekcije ljudi. Prema dosadašnjim istraživanjima u 80-90% infekcija uzrokovanih sa Legionella spp. je dokazana Legionella pneumophila tip 1 (1).

Prirodna staništa *L. pneumophila* su vodene sredine jezera, bara i potoka, a poznato je da žive godinama u ohlađenim uzorcima vode. Dobro rastu i razmnožavaju se na temperaturnom rasponu od 25° do 42° Celzijusa, uz prisustvo algi ili protozoa, te soli kalcijuma i magnezijuma koje sadrže sedimenti (2). U prirodnom okruženju su ove bakterije prisutne u niskim koncentracijama, ali se njihova koncentracija može značajno povećati u vještačkoj okolini u zavisnosti od vrste materijala, prisustva biofilma i dostupnih hranljivih materija (3). *Legionella* spp. bakterije su oportunistički patogeni koji koloniziraju vodu, a najčešće se izoluju u vještačkim vodenim sredinama nastalim ljudskim djelovanjem, kao što su instalacije sistema tople vode, tuševi, rashladni tornjevi, banje, fontane, ovlaživači zraka,

raspršivači, kondenzatori isparavanja. Ovi složeni, vještački stvoreni vodeni sistemi u nekim situacijama mogu stvarati aerosol koji pospješuje širenje i potiče bolju distribuciju bakterija (4). Kada su uslovi u gore navedenim sistemima povoljni za rast i razmnožavanje, legionele se mogu namnožiti toliko da vodeni aerosol postane infektivan za ljude. Tome posebno pogoduje stagnacija vode, hidranti i slijepi završeci cijevi, temperatura vode od 20°C do 40°C, korozija cijevi sa stvaranjem mulja, te odgovarajuća mikroflora koju najčešće čine modrozeleno alge i amebe. Kod tako povoljnih uslova broj legionela se značajno uveća, te se stvara mogućnost za unošenje aerosola u respiratorni trakt ljudi, što predstavlja rizik za pojavu oboljenja, a u nekim situacijama čak i za pojavu epidemija legioneleza.

Sistemi za zagrijavanje vode su glavni izvor infekcije, posebno ako su dotrajali ili se u njima ne postiže odgovarajuća temperatura, nepovoljna za rast legionela cijelom dužinom sistema (5). Uobičajeni rezervoari legionela su i stambeni i industrijski vodovodi, sistemi distribucije pitke vode u bolnicama, lječilištima i velikim zgradama, rashladni tornjevi kao i isparljivi kondenzatori i sistemi za vodosnabdijevanje (1). Promjena uslova okoline olakšava izlaganje ljudi aerosolizovanoj vodi koja sadrži *Legionella* spp. a tu spada sve veća ovisnost o sistemima grijanja, ventilacije i hlađenja. Posebno veliki potencijalni rizik predstavlja složenost sistema vodosnabdijevanja u velikim zgradama, bolnicama i hotelima koji imaju labirint vodovodnih cijevi i mreža koje vodu dovode u stotine tuševa u sobama duž dugih hodnika, do banja i zatvorenih prostora sa ukrasnim fontanama (6). Već više od 30 godina je poznato da se *Legionella pneumophila* može naći i u sistemima za vodosnabdijevanje stomatoloških stolica, a zbog korištenja nekih instrumenata kao što su vodo-vazdušne štrcaljke, turbine i bušilice velike brzine, aerosoli sa *Legionella* spp. iz sistema vodosnabdijevanja stomatoloških stolica se mogu raspršiti u usta pacijenata, ali i u prostor oko pacijenta, te tako dospjeti u respiratorni trakt pacijenata i/ili stomatološkog osoblja (7). Legionarska bolest je zabilježena u svih 30 zemalja Evropske Unije (EU) i Evropskog ekonomskog prostora (EEA). U periodu od 2005. do 2010. godine su ove zemlje prijavljivale između 5.500 i 6.000 slučajeva legionarske bolesti godišnje što je ekvivalent od oko 1 slučaj legionarske bolesti na 100.000 stanovnika. Od 2011. do 2017. godine taj je broj porastao, pa je 2017. godine incidenca iznosila 1,8 na 100.000 stanovnika za EU/EEA region. U 2018. godini, incidenca je još više porasla kada je iznosila 2.2 na 100.000 stanovnika za EU/EEA region (8). Prisutna je heterogenost incidence između zemalja EU/EEA, a najvišu incidencu je prijavila Slovenija sa 7,7 oboljelih na 100.000 stanovnika (9). U Hrvatskoj je 2018.

godine incidenca legionarske bolesti iznosila 1,14 na 100.000 stanovnika (9). Do 2019. godine nije bilo evidentiranih slučajeva legioneloza kod stanovnika Bosne i Hercegovine što je vjerovatno dobrim dijelom posljedica nepostojanja odgovarajuće dijagnostike, kao i do sada nedovoljne senzibilizacije zdravstvenih radnika da misle na ovo oboljenje u diferencijalnoj dijagnostici pneumonija. Međutim, legioneloze su više puta registrovane kod stranih turista koji su u vrijeme inkubacije za oboljenje boravili u našoj zemlji. U tim slučajevima pokretala se detekcija mjesta uzročnika i uzimali su se uzorci vode na analizu (10,11). U 2019. godini su evidentirana 3 slučaja oboljenja od legioneloza sa incidencom od 0,1 oboljelih na 100.000 stanovnika. Sva 3 slučaja su bila evidentirana na području Kantona Sarajevo, a najviše su bili pogođeni muškarci (75%) (12). U 2020. godini nije bilo prijavljenih slučajeva legioneloza, što jednim dijelom uzrok može biti činjenica manjeg broja korištenja hotelskih kapaciteta zbog pandemije koronavirusa. Porast legioneloza se pripisuje brojnim faktorima uključujući zastarjeloj infrastrukturi koja pruža povoljno okruženje za rast i razmnožavanje legionella (13). Centar za kontrolu zaraznih bolesti navodi zastarjelu infrastrukturu kao doprinos povećanom rastu bakterije legionele zbog korozije cijevi za pitku vodu koja potiče rast legionele zbog a gubitak dezinfekcije (14).

Cilj ovog istraživanja je ispitati povezanost prisustva *Legionelle* spp u sistemu vodosnabdijevanja stomatoloških stolica sa starošću objekata u kojem su stomatološkim ordinacijama smještene na području FBiH.

1. Materijal (ispitanici) i metode istraživanja

Ispitanici u ovom istraživanju su bila 102 stomatologa zaposlena u 102 stomatološke ordinacije u državnom i privatnom vlasništvu na području Federacije BiH koji su odgovarali

na pitanja iz ankete o procjeni rizika za pojavu legioneloza u stomatološkim ordinacijama. Iz svake stomatološke ordinacije koja je bila uključena u istraživanje anketiran je po jedan ispitanik/stomatolog. U istraživanju su se koristili uzorci vode uzeti iz stomatoloških stolica (102 stomatološke stolice) koje su smještene u stomatološkim ordinacijama u kojima su radili ispitanici. Iz svake stomatološke ordinacije uzet je po jedan uzorak vode. Za starost objekta uzete su 4 grupe i to tako da prvu grupu su činili objekti starosti do 10 godina, drugu grupu objekti starosti 10 do 24 godine, treću objekti starosti 25 do 49 godina starosti, a četvrtu objekti starosti 50 i više godina. Istraživanje je presječna studija, koja se provela u stomatološkim ordinacijama na području Federacije Bosne i Hercegovine u periodu od decembra 2019. do novembra 2020. godine. U ovom istraživanju su uzeta 102 uzorka vode iz stomatoloških ordinacija na prisustvo legionela, i to na području sedam kantona Federacije Bosne i Hercegovine, tokom četiri godišnja doba. Analiza na prisustvo legionela u uzorcima vode rađena je

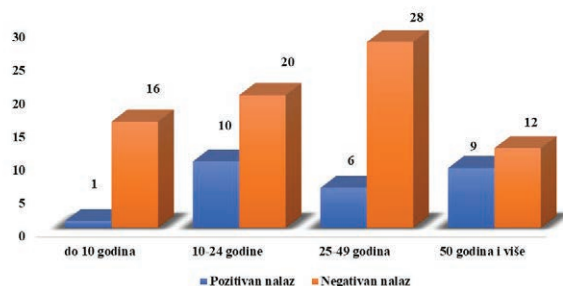
metodom BAS EN ISO 11731:2018. Nakon prikupljanja podataka i rezultata analize izvršena je njihova statistička obrada. Za formiranje baze podataka i statističku obradu koristio se program IBM SPSS 20. Statistička obrada podataka je uključivala metode deskriptivne statistike, chi kvadrat testa i binarne logističke regresije.

2. Rezultati istraživanja i diskusija

Rezultati analize povezanost prisustva bakterija Legionella spp. u uzorcima vode i starosti objekta su prikazani u Tabeli 1. Uočljivo je da je najveći broj stomatoloških ordinacija smješten u objektima koji su stariji od 10 godina, čak 83,3%. Najveći broj objekata u ovom istraživanju su starosti 25-49 godina, njih 33,3% dok je čak 20,6% ordinacija smješteno u objektima koji su stariji od 50 godina, što može predstavljati izvjesni rizik zbog starosti raznih instalacija pa tako i onih za vodosnabdijevanje stomatoloških stolica.

Starost objekta u kojem su smještene stomatološke ordinacije	Prisutna Legionella spp.		UKUPNO
	DA	NE	
do 10 godina	1 (5,9%)	16 (94,1%)	17 (16,7%)
10-24 godine	10 (33,3%)	20 (66,7%)	30 (29,4%)
25-49 godina	6 (17,6%)	28 (82,4%)	34 (33,3%)
50 godina i više	9 (42,9%)	12 (57,1%)	21 (20,6%)
UKUPNO:	26 (25,5%)	76 (74,5%)	102 (100,0%)

Tabela 1. Prikaz pozitivnih i negativnih nalaza Legionella spp. u odnosu na starost objekta u kojem su smještene stomatološke stolice



Slika 1. Prikaz odnosa pozitivnih i negativnih nalaza legionela u vodi uzetoj u stomatološkim ordinacijama u odnosu na starost objekata u kojim se ordinacija nalaze

STAROST OBJEKTA	KANTONI							
	Kanton Sarajevo	Hercegovačko-neretvanski kanton	Tuzlanski kanton	Unsko-sanski kanton	Srednjo-bosanski kanton	Zeničko-dobojski kanton	Zapadno-hercegovački kanton	UKUPNO
< 10 godina	2 (4,1%)	7 (35,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	2 (40,0%)	2 (40,0%)	4 (100,0%)	17 (100,0%)
10-24 godine	11 (22,5%)	3 (15,0%)	5 (41,7%)	7 (100,0%)	2 (40,0%)	2 (40,0%)	0 (0,0%)	30 (100,0%)
25-49 godina	16 (32,6%)	9 (45,0%)	7 (58,3%)	0 (0,0%)	1 (20,0%)	1 (20,0%)	0 (0,0%)	34 (100,0%)
50 i više godina	20 (40,8%)	1 (5,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	21 (100,0%)
UKUPNO	49 (100,0%)	20 (100,0%)	12 (100,0%)	7 (100,0%)	5 (100,0%)	5 (100,0%)	4 (100,0%)	102 (100,0%)

Tabela 2. Distribucija starosti objekata u kojem se nalaze stomatološke ordinacije po Kantonima u Federaciji BiH

Najveći broj stomatoloških ordinacija iz kategorije starost objekta 50 i više godina se nalazi u Kantonu Sarajevu, njih 40,8%, što ih stavlja u veći rizik za prisustvo Legionella spp. u sistemu vodosnabdijevanja stomatoloških ordinacija. Stomatološke ordinacije smještene u objektima starosti 25-49 godina su najviše zastupljene u Tuzlanskom kantonu (58,3%), zatim u Hercegovačko-neretvanskom (45,9%), te Kantonu Sarajevo (32,6%).

Daljom statističkom obradom uticaja starosti objekta u kojem su smještene stomatološke ordinacije na prisustvo Legionella spp. dokazano je da postoji statistički značajna razlika u prisustvu legionela u objektima različite starosti u kojem su smještene stomatološke ordinacije ($p=0,02$).

Starost objekta u kojem su smještene stomatološke ordinacije	95% CI	OR [§]	X ^{2*}	p [†]
do 10 godina		1,00		
10-24 godine	0,47-4,73	3,50	9,63	0,02
25-49 godina	1,01-12,03	1,50		
50 godina i više	1,33-18,01	4,80		

Tabela 3. Povezanost prisustva Legionella spp. u ispitivanim uzorcima vode sa starošću objekta u koje su smještene ordinacije iz kojih su uzeti uzroci

^{||}raspon pouzdanosti, [§]omjer izgleda, ^{*}Chi kvadrat test, [†]p vrijednost

Iz tabele III. se vidi da je u objektima starosti 25-49 godina rizik za pojavu Legionella spp. u vodi bio veći za 1,5 puta u odnosu na objekte

koji su do 10 godina starosti. Kod objekata starosti 10-24 godine ovaj rizik je veći za 3,5 puta, dok je kod objekata starosti 50 godina i

više ovaj rizik veći za 4,8 puta.

Istraživanjem je obuhvaćeno dokazivanje prisustva *Legionella* spp. u vodi sistema vodosnabdijevanja stomatoloških stolica, te su analizirani mnogi drugi potencijalni faktori za koje se pretpostavlja da mogu uticati na prisustvo legionela i pojavu legioneloza, a jedan od njih je i starost objekata u kojima su smještene stomatološke ordinacije (15).

U ovom istraživanju procent pozitivnih uzoraka na *Legionella* spp. je bio 25,5%, što je više u odnosu na istraživanje koje su u Sloveniji proveli Grcić i Eržen koji su našli 18,3% pozitivnih uzoraka (16). Atlas i saradnici su u svom istraživanju u SAD detektovali prisustvo *Legionella* spp. u 68% uzoraka uzetih iz sistema vodosnabdijevanja stomatoloških stolica (17). Slično istraživanje u Italiji su proveli Zanetti-a i saradnici koji su potvrdili udio od 61% pozitivnih uzoraka (18). Nešto manji udio pozitivnih uzoraka (50%) je bio u istraživanju Luck-a i saradnika u Njemačkoj (19). Podaci ovih istraživanja su ukazali da su i pacijenti i stomatološko osoblje izloženi *Legionella* spp. i da postoji visoki rizik za obolijevanje ovih populacionih grupa. Prisustvo legionela se u većini slučajeva otkrije u starijim građevinama, a najčešće se povezuje sa korodiranim vodovodnim cijevima i tzv. cijevima „slijepim crijevima“ koje zaobilazi protok vode. Svi ovi faktori utiču na to da se lakše stvara biofilm, a teže izvrši uspješna dezinfekcija sistema (20).

Starost objekta se uzima kao jedno od ključnih pitanja kako bi se procijenila starost sistema za vodosnabdijevanje unutar objekta, uzevši u obzir da su neki dijelovi infrastrukture u našoj zemlji dosta stari i datiraju iz perioda poslije II svjetskog rata. Također, materijali koji su se prije koristili za izradu sistema za vodosnabdijevanje mogu stimulisati rast bakterija roda legionela i stvaranje biofilma (21).

Starija infrastruktura je u pozitivnoj korelaciji

sa kolonizacijom legionela što su pokazale i studije rađene u Pitsburgu koje su pokazale da je u uzorcima vode uzetim u objektima smještenim u gradskoj jezgri veća prevalencija legionela u odnosu na one uzorke vode koji su uzeti iz objekata u prigradskim naseljima (22). U ovom istraživanju najveći broj pozitivnih uzoraka na *Legionella* spp. je bio u objektima starosti 50 godina i više, čak 42,9% te u objektima starosti 10-24 godine u kojim je u 33,3% slučajeva detektovano prisustvo legionela. Najmanji udio pozitivnih nalaza nađen je u uzorcima uzetim iz novijih objekata starosti do 10 godina, tačnije samo jedan uzorak, što je 5,9% u odnosu na ukupno uzete uzorke iz tih objekata (15).

3. Zaključak

Legionele su čest kontaminat vode u stomatološkim stolicama te postoji objektivni rizik za nastanak legioneloza kako kod pacijenata tako i kod zaposlenih u stomatološkim ordinacijama. Mnoga istraživanja kao i ovo pokazuju da objekti sa starijom infrastrukturom predstavljaju veći rizik za rast i razmnožavanje *Legionella* spp. u vodi tih objekata. U ovom istraživanju postoji statistički značajna razlika u prisustvu legionela u objektima različite starosti u kojim su smještene stomatološke ordinacije, tako da u odnosu na podgrupu uzorka u kojoj su objekti do 10 godina starosti, u objektima starosti 25-49 godina rizik za pojavu *Legionella* spp. je veći za 1,5 puta, kod objekata starosti 10-24 godine ovaj rizik je veći za 3,5 puta, dok je kod objekata starosti 50 godina i više ovaj rizik veći za 4,8 puta. U Bosni i Hercegovini se do sada malo radilo na istraživanju prisustva *Legionella* spp. i rizika za pojavu legioneloza. Ovo je prvo istraživanje o prisustvu *Legionella* spp. u vodi stomatoloških stolica i procjeni rizika za pojavu legioneloza u stomatološkim ordinacijama.

Uz manjak istraživanja, naša država nema donesen zakonski okvir koji se bavi proble-

mom prisustva *Legionella* spp. u vodi za piće, a samim tim niti u vodi stomatoloških stolica. Rezultati istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji trebaju biti upozorenje za zakonodavne organe na nivou entiteta i države da rizici za pojavu legioneloza u stomatološkim ordinacijama postoje, te da se treba krenuti u procedure izrade i usvajanja odgovarajuće zakonske regulative.

LITERATURA

- [1] Kasper DL, Braunwald E, Fauci AS, Hauser SL, Longo DL, Jameson JL, Loscalzo J. Harrison's principles of internal medicine 17th ed. New York: McGraw-Hill; 2008: 930-32.
- [2] Szymanska J. Risk of exposure to *Legionella* in dental practice. *Ann Agric Environ Med* 2004; 11: 9-12.
- [3] Veronesi L., Capobianco E., Affanni P., et al. *Legionella* contamination in the water system of hospital dental settings. *Acta Biomed.* 2007; 78: 117-22.
- [4] Besic A, Obradovic Z, Dautbegovic A, Obradovic A. The effect of temperature and chlorine residual on the presence of *Legionella* spp. in water systems of public and tourist facilities. *Journal of Health Sciences* 2017; 7(1):50-8.
- [5] Muder R, Yu V, Woo A. Mode of transmission of *Legionella pneumophila*: A critical review. *Arch Intern Med.* 1986; 146:1607-12.
- [6] Berkelman RL, Pruden A. Prevention of Legionnaires' Disease in the 21st Century by Advancing Science and Public Health Practice. *Emerging Infectious Diseases* 2017; 23(11):1905-7.
- [7] Szymanska J, Sitkowska J. Bacterial hazards in a dental office: An update review. *African Journal of Microbiology Research* 2012; 6(8): 1642-50.
- [8] European Centre for Disease Prevention and Control. European Legionnaires' Disease Surveillance Network (ELDSNet) - Operating procedures for the surveillance of travel-associated Legionnaires'disease in the EU/EEA. Stockholm: ECDC; 2017. Stockholm: ECDC; 2017.
- [9] European Centre for Disease Prevention and Control. Legionnaires' disease. In: ECDC. Annual epidemiological report for 2018. Stockholm: ECDC; 2020.
- [10] Besic A, Obradovic Z, Dautbegovic A, Obradovic A. The risk assesment and impact of hygienic conditions on the development of *Legionella* spp. in water system of public and tourist facilities. *International Journal of Research - Granthaalayah* 2017;5(11):1-13.
- [11] Obradovic Z, Balta S, Mesic S, Pasagic S. Legionellosis - risk assessment, Zbornik Radova: 26. Znanstveno - Stručno - Edukativni Seminar DDD i ZUPP 2014; 189-97.
- [12] Zavod za javno zdravstvo FBiH. Godišnji izvještaj o zaraznim bolestima i provedenoj imunizaciji u Federaciji Bosne i Hercegovine u 2019.godini. Sarajevo/Mostar. 2019; 1-66.
- [13] Žilic A, Obradovic Z, Maestro D, Bešić A, Smječanin E. Prisustvo *Legionella* spp. u vodnim sistemima stomatoloških stolica. Book of abstracts / International Days of Public and Environmental Health Profession 2019 = Zbornik povzetkov / Mednarodni dnevi sanitarnega inženirstva 2019, Ljubljana: Inštitut za sanitarno inženirstvo, Institute of Public and Environmental Health, 2020.
- [14] Wang, H.; Masters, S.; Falkinham, J. O.; Edwards, M. A.; Pruden, A. Distribution system water quality affects responses of opportunistic pathogen gene markers in household water heaters. *Environ. Sci. Technol.* 2015, 49(14), 8416-8424.
- [15] Žilić A. Procjena rizika za pojavu legioneloza u stomatološkim ordinacijama. Doktorska disertacija. Univerzitet u Sarajevu, Fakultet zdravstvenih studija. Sarajevo. 2021.
- [16] Grcic E, Erzen I. Health risk assessment for dental healthcare employees and patients due to the exposure to *Legionella* spp. in dental unit water systems in Slovenia. *International Journal of Sanitary Engineering Research* 2016;10:48-60.
- [17] Atlas RM, Williams JF, Huntington MK. *Legionella* contamination of dental unit waters. *Appl Environ Microbiol* 1995; 61: 1208-13.
- [18] Zanetti F, Stampi S, De Luca G, et al. Water characteristics associated with the occurrence of *Legionella pneumophila* in dental units. *Eur J Oral Sci* 2000; 108: 22-8.

3. BH Kongres o vodama / 3rd B&H Water Congress

- [19] Luck PC, Lau B, Seidel S, Postl U. Legionellae in dental units-a hygienic risk? *Deutsch Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl* 1992; 80: 341-6.
- [20] Totaro M, Costa AL, Frenzo L, Profeti S, Casini B, Gallo A et al. Evaluation of Legionella spp. Colonization in Residential Buildings Having Solar Thermal System for Hot Water Production. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020;17:7050-58.
- [21] Besic A. Prisustvo Legionella spp. u javnim i turističkim objektima u Bosni i Hercegovini [dissertation]. Sarajevo. Univerzitet u Sarajevu; 2016.
- [22] Alary M, Joly JR. Risk factors for contamination of domestic hot water systems by Legionellae. *Applied and Environmental Microbiology*. 1991;57:2360-7.





SESIJA 4 / SESSION 4

H₂O projekt

/

H₂O project

Naomi Timmer

MA Political Science & Religious Studies, Leiden University,
Director H2OPeople B.V
ntimmer@h2o-people.eu

Rasha Hassan

PhD candidate at University of Barcelona,
Gran Via de les Corts Catalanes, 585, 08007 Barcelona
Project officer at H2OPeople B.V.
rhassan@h2o-people.eu

Grand challenges face the European water sector which require promoting leadership among the actors as well as innovative solution based on co-creation. This paper aims to highlight EJWP as a tailored programme for European junior water professionals to build leadership, disseminate and co-create knowledge and Personal and professional skills development. It is a part-time, two-year programme that supports pairing essential 'human' skills with technical expertise for a more comprehensive working methodology. It leverages the power of young water professionals who are crucial not only to their water entities but also to tackle the current challenges in the water sector.

Key words

Water leadership, young water professionals, personal development

The scope and magnitude of the challenges facing the European water sector are gradually rising as water stress is growing around Europe¹. The underlying drivers behind this context are associated with climate change and water management².

Drought is becoming a recurrent extreme event with an increasing severity each year in certain regions of Europe including the southern part on the Mediterranean³. This increases the pressure on water resources as well as water related risks as drought manifests itself primarily in water⁴.

A range of pressing issues confronts the water management and hamper implementing the EU Water Framework Directive (WFD) in different parts of Europe². Degradation in water quality and quantity due to drought and pollution is a major concern with hotspots across EU. Water scarcity and over abstraction of groundwater for socio-economic activities represent other pressures on water management. This current European context entails the transition toward Water Smart Society and implementing the European Green Deal.

In addition, the employment in the European water sector is witnessing some unhealthy trends and challenges⁵. Digitalization, difficulty in retaining workers and major shifts in the types of skills and specific occupations are among these trends⁶.

Thus, business as usual is no longer sufficient as well as one size fits all. There is a significant demand for leadership, comprehensive thinking and innovative solutions for complex challenges that the European water sector is experiencing⁷. Adopting a human capital approach is a key tool to building the right skills as well as leaders that are able to work together and collectively drive processes of change^{7,8}.

Human capital can be defined as a collection of non-exhaustive features such as skills, knowledge, experience and backgrounds⁸. In order to develop these features, tailored development interventions such as trainings and short courses are much needed. Still, these interventions need to engage all stakeholders to strengthening the skills system.

The European Junior Water Programme (EJWP) is a tailored leadership programme, running since 2019, that aims to build a community of talented empowered young water professionals who share a deep commitment to a future of sustainable water resources in Europe. EJWP builds knowledge, skills, and networks to strengthen junior management careers and the impacts of their organizations.

This paper aims to highlight EJWP as a tailored programme for European junior water professionals to build leadership, disseminate and co-create knowledge and Personal and professional skills development.

1. The rationale behind creating EJWP

The European Junior Water Programme (EJWP) is a tailored leadership programme that supports pairing essential 'human' skills with technical expertise for a more comprehensive working methodology. It leverages the power of young water professionals who are crucial not only to their water entities but also to tackle the current challenges in the water sector. Thus, it is a part-time, two-year programme that has three pillars of development:

- Knowledge creation and transfer: masterclasses on European policies, water technology and innovations, and primary water challenges – including local water projects of participating organizations.

- European network opportunities through EJWP community building: integration in Water Europe, EJWP Ambassadors, and event participation.
- Personal and professional skills development in international teams: emphasis on cultural awareness and diversity in project exercises.

EJWP boosts some key benefits to both the water entity and its young water professionals.

The benefits for water organizations are the following:

- Leadership skills empower junior staff to be new water leaders.
- Enhances diversity awareness and creates a European network.
- Cost-efficient and professional training.
- Innovative solutions for water challenges.

While the benefits for young water professionals are the following:

- Build valuable networks in the European water sector.
- Develop diverse water communication skills.
- Co-create innovative water solutions with peers.
- Bridge the gap between technical capabilities with human skills.

2. EJWP approach

EJWP utilizes an approach that aims to support the creation of Water Smart Society. Figure (1) explains EJWP approach and its different pillars.

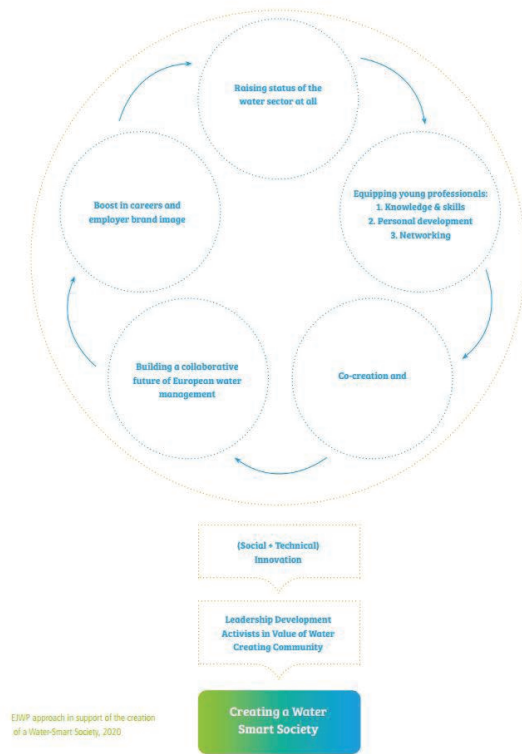


Figure 1. EJWP approach

3. EJWP learning path

Dynamic knowledge of European policies, water governance, financial instruments, water footprint, and key water challenges is built throughout the programme via team projects, masterclasses, expert presentations, and sharing within the group. In addition, co-creating solutions to pressing water issues through these practical assignments help participants learn about each other's organizations and to gain real experience in intercultural teamwork. There are key courses and four projects in the learning path of EJWP journey based on the pillar of knowledge creation and transfer, Table (I).

Topic	Activity	Added-value
Networking	Participants are connected to young professional networks and leading voices of the water sector represented in our EJWP Ambassadors team	Professional synergies benefit water-sector personnel and their organizations through new opportunities and information sharing.
Group Projects	Culturally-diverse teams on cooperate on current challenges with European water-organizations.	Participants learn about each other's organizations and to gain real experience in intercultural teamwork.
Knowledge management	Participants engage in trend watching and business case development assignments, aimed at water cooperation opportunities.	Results are published, and EJWP reviews the outcomes to assess the impact of the projects: How can it be carried to the next step? How can it be improved?
Individual assignment	Research and observations carried out on water-smart society, and presented with brainstorming sessions on combining strengths to create bigger impacts.	Participants are better able to make tangible contributions to business growth in the European water sector.
Local Water System and field visits	All participants visit water organizations in countries of their EJWP colleagues, for presentations and local learning.	Interaction creates better insights on local issues, and builds cooperation possibilities on European, transnational or multi organizational levels.

Knowledge Transfer	Masterclasses are held with experts on topics including: Hydrology, EU Policy, Financial Tools, Governance, Innovation, Water Footprint and more.	Participants become familiar with practical issues that yield functional perspectives on the good, the bad, and the highly questionable systems within the water sector.
Personal development coaching led by EJWP certified trainer	Personal and career development	A clear perspective on personal goals – and using networks for career paths
	Co-creation strategies and evaluation	Better understanding of one's own methods of working and motivations, while bridging cultural differences.
	Project and personnel management	Confidence in challenging situations, being flexible to respond within a range of productive options
	Leadership techniques and theory	Interpreting complex situations and applying persuasive and effective approaches to accomplish objectives
	Future century skills for sustainability	Recognizing emerging trends and techniques –introducing innovative solutions that are adopted by communities of practice

Table I. EJWP Course Highlights

4. The criteria for participation in EJWP as a young water professional

In order to get the best of EJWP learning and development opportunity, there are specific criteria that the young water professional should meet:

- 2 - 8 years of work experience;
- Circa under age 40;
- Proficient in English;
- Working in a water-related organization;
- Has at least a bachelor's degree;
- Open-minded, flexible, and passionate about water issues;
- Culturally sensitive;
- A team player;
- Interested in the European water management sector and its challenges;
- Eager to learn and develop in a professional atmosphere

5. Three batches of EJWP and the momentum is continuing

The first batch of EJWP started in June 2019 during Water Innovation Europe, one of the key conferences of Water Europe and graduated in 2021. A milestone in an uncertain and challenging time of COVID-19. Moreover, the second batch started November 2020 will graduate by the end of 2022. The doors are open to register in EJWP4 for the kick off in 2022. The running of all these batches shows that EJWP is fulfilling a need in the European water sector and beyond and contributing to build a Water Smart Society.

REFERENCES

- [1] European Environment Agency. Water Resources across Europe - Confronting Water Stress: An Updated Assessment.; 2021.
- [2] European Environment Agency. Drivers of and Pressures Arising from Selected Key Water Management Challenges. A European Overview.; 2021. <https://www.eea.europa.eu/publications/drivers-of-and-pressures-arising>.
- [3] European Environment Agency. European Waters – Current Status and Future Challenges: Synthesis.; 2012. http://www.eea.europa.eu/publications/european-waters-synthesis-2012/at_download/file%5Cnhttp://www.eea.europa.eu/publications/towards-efficient-use-of-water.
- [4] Quevauviller P. Adapting to climate change: Reducing water-related risks in Europe - EU policy and research considerations. Environ Sci Policy. 2011;14(7):722-729. doi:10.1016/j.envsci.2011.02.008
- [5] European Junior Water Programme, Water Europe. Human Capital in the European Water Sector. Brussels; 2020.
- [6] Littlewood P, Glorieux I, Jönsson I. The Future of Work in Europe.; 2017. doi:10.4324/9781351146609
- [7] Taylor A, Arriëns WTL, Laing M. Understanding six water leadership roles: A framework to help build leadership capacity. New Water Policy Pract. 2015;1(2). doi:10.18278/nwpp.1.2.2
- [8] Becker GS. Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education. Columbia University Press; 1964.

Upravljačke odluke upravljanja višenamjenskom akumulacijom i slivom

/

Operational decisions of multipurpose reservoir and basin management

Doc.dr.sc. Omer Kovčić, dipl.ing.građ.

JP SPREČA za vodoprivrednu djelatnost d.d.
Tuzla
Aleja Alije Izetbegovića 29/VII
omer.kovcic@gmail.com

Mufid Tokić, dipl.ing.građ.,MA

JP SPREČA za vodoprivrednu djelatnost d.d.
Tuzla
Aleja Alije Izetbegovića 29/VII
mufid.tokic@gmail.com

Upravljanje višenamjenskom akumulacijom predstavlja izazov kod svih donosica odluka, s tim da se on još povećava kada se korisna zapremina smanjuje unosom nanosa. Takav slučaj smanjenja korisne zapremine se dešava i kod višenamjenske akumulacije Modrac. Promjena zahtjeva od strane korisnika, promjena u količini ispuštanja ekološki prihvatljivog protoka, težnja za povećanjem proizvodnje hidroenergije sve ovo dovodi do potrebe mijenjanja operativnih odluka od strane donosioca odluka i maksimalnog iskorišćenja vodnih resursa koja se nalaze u višenamjenskoj akumulaciji. Stoga je potrebno napraviti optimizacioni model upravljanja višenamjenskom akumulacijom, kako bi efekat iskorištenosti bio veći. U ovom radu dat je model upravljanja sistemom višenamjenske akumulacije Modrac, odnosno potrebni koraci za efikasnije upravljanje hidroakumulacijom Modrac.

Ključne riječi

Višenamjenska akumulacija Modrac, matematički model, upravljačke odluke, efikasno upravljanje

Managing a multi-purpose reservoir is a challenge for all decision makers, but it increases when the usable volume decreases with the input of sediment. Such a case of reduction of useful volume also occurs in the multipurpose reservoir "Modrac". Changing requirements from users, changes in the amount of discharged environmental flow, the desire to increase hydropower production, all this leads to the need to change operational decisions by decision makers and maximize the use of water resources in multipurpose reservoirs. Therefore, it is necessary to create an optimization model for the management of multi-purpose reservoir, in order to have a greater effect of utilization. This paper presents a model for managing the Modrac multi-purpose reservoir system, ie the necessary steps for more efficient management of the multi-purposre reservoir Modrac.

Key words

Multi-purpose reservoir Modrac, mathematical model, management decisions, efficient management

Sistem predstavlja brana i hidroakumulacija Modrac sa pripadajućim slivom.

Brana sa svojim ispustima i prelivima predstavlja element sistema koja preko količine ispuštanja kroz ispuste ili preliv direktno djeluje na hidroakumulaciju odnosno njenu zapreminu i nivo.

Hidroakumulacija stvorena branom preko nivoa vode u njoj, djeluje na količinu ispuštanja kroz preliv i ispuste.

Ova dva elementa su usko povezana i ne mogu se promatrati odvojeno, a omogućavaju da se na osnovu poznatih vrijednosti izračunaju one koje su potrebne.

To znači da se na osnovu promjene zapremine i nivoa u hidroakumulaciji i isticanja kroz temeljne ispuste na brani može utvrditi prirodni protok ili dotok u hidroakumulaciju i nizvodni protok.

Ova interakcija elemenata sistema iskorištena je u disertaciji za utvrđivanje protoka.

Sljedeći element sistema jeste sliv hidroakumulacije i padavine koje se dešavaju unutar sliva. Ovaj element sistema utječu na sistem, ali sistem nema utjecaja na njega. Međutim, preko podataka o ovom dijelu sistema može se utvrditi koji dio sliva najviše utiče na formiranje i veličinu poplavnih valova.

1. Osnovne karakteristike brane Modrac

Hidroakumulacija Modrac formirana je 1964. godine izgradnjom brane na rijeci Spreči, u tjesnacu Modrac.

Danas hidroakumulacija Modrac rješava više vodoprivrednih i izrazito privrednih aspekata. Prema Zakonu o zaštiti akumulacije Modrac ("Službene novine Tuzlanskog kantona", broj: 5/06), namjene hidroakumulacije Modrac, po redoslijedu prioriteta, su:

- ▶ Osiguranje vode za potrebe stanovništva;
- ▶ Osiguranje vode za potrebe industrije;
- ▶ Zaštita od poplava nizvodno od brane;
- ▶ Osiguranje hidrobiološkog minimuma za vodotok Spreča, nizvodno od hidroakumulacije;
- ▶ Razvoj turizma, rekreacije i sportova na vodi, te
- ▶ Proizvodnja hidroenergije na MHE, korištenjem viška voda u hidroakumulaciji Modrac.

Brana Modrac je višelučna armirano-beton-ska, sa 11 kontrafora, sa sljedećim osnovnim karakteristikama:

- ▶ Građevinska visina brane $H=33,35$ m;
- ▶ Dužina brane u kruni $L=205,0$ m;
- ▶ Širina kontrafora pri vrhu $1,40$ m, a u stopi $3,00$ m;
- ▶ Kota gornje ivice konstrukcije brane $205,00$ m.n.m.;
- ▶ Projektirana kota maksimalnog uspora $203,00$ m.n.m.;
- ▶ Kota prelivnih polja brane – kota normalnog uspora $200,00$ m.n.m.;
- ▶ Kota minimalne radnog nivoa $194,00$ m.n.m.;

- ▶ Četiri temeljna ispusta (broj: 2, 6, 7 i 8) u kontraforima (2, 6, 7 i 8) sa kotama osovine zatvarača, na izlazu: $190,00$ m.n.m, $186,55$ m.n.m, $186,51$ m.n.m. i $186,55$ m.n.m. Maksimalni kapacitet (maksimalni stepen otvorenosti zatvarača) temeljnih ispusta je oko $80,00$ m³/s, te
- ▶ Tri prelivna polja sa ski-skokom, bez ustava [10].

Od 1999. godine, na temeljnom ispustu broj 2 izvedena je MHE "Modrac" približno instalirane snage $2,0$ MW (točnije, pri čemu je ukupni evakuacioni kapacitet preostalih temeljnih ispusta i MHE ostao približno isti, $80,0$ m³/s.

Navedene kote su bitne jer je njima definirana korisna zapremina vode u hidroakumulaciji preko minimalnog i maksimalnog radnog nivoa, kota iznad koje dolazi do prelijevanja vode, [10].

2. Dinamički matematički model upravljanja hidroakumulacijom Modrac

2.1. Uvodna razmatranja

Za izradu dinamičkog matematičkog modela upravljanja hidroakumulacijom Modrac, korišten je softverski paket Matlab R 2015 a, [12]

Urađen je dinamički matematički modela za postojeće stanje (sa trenutnim količinama – isporukama potrošačima i količinom hidroenergetskog iskorištenja).

Rad sistema hidroakumulacije i upravljanjem hidroakumulacijom predstavlja dugoročni proces donošenja odluka.

Dinamički matematički model rada sistema hidroakumulacije Modrac se sastoji od tri (3) komponente, [11]:

- ▶ *Ciljna funkcija*: Cilj može predstavljati maksimiziranje ciljne funkcije (poput hidroenergetskog iskorištenja, prihodi od vodosnabdijevanja i benefiti od navodnjavanja), odnosno minimiziranja troškova (na primjer, šteta od poplava ili cijena izgradnje hidroenergetskog sistema);
 - ▶ *Varijable odlučivanja*: Mogu biti količina ispuštanja u svakom razdoblju, ili prenošenje zapremine iz prethodnih perioda do subsekventih (sljedećih) perioda. Vrijednosti varijabli odlučivanja predstavljaju parametre koji određuju ciljnu funkciju;
 - ▶ *Ograničenja*: Tipična ograničenja u radu sistema hidroakumulacije uključuje odnos vodnog bilanca, kapacitet sistema hidroakumulacije, kapacitet ispuštanja sistema hidroakumulacije (kapacitet temeljnih ispusta i preliva), količina ispuštanja, početna zapremine, krajnja zapremina itd.
- ▶ mosta iznad kontrafora, kota normalnog radnog nivoa, kota minimalnog radnog nivoa);
 - ▶ Objekti na brani Modrac, koji služe za ispuštanje i prelijevanje vode (temeljni ispusti i prelivni organi);
 - ▶ Kriva zapremine hidroakumulacije Modrac;
 - ▶ Površina hidroakumulacije Modrac;
 - ▶ Sekvence dotoka u hidroakumulaciju Modrac;
 - ▶ Karakteristike rada postojeće mini hidroelektrane MHE Modrac 1;
 - ▶ Količina vode za snabdijevanja industrije i stanovništva vodom - postojeće stanje;
 - ▶ Količina vode za obezbijedivanje biološkog minimuma za rijeku Spreču nizvodno od brane Modrac, odnosno vodoprivredni minimum;
 - ▶ Ekološki prihvatljiv protok EPP rijeke Spreče na profilu brane Modrac;
 - ▶ Sušni period je tretiran od mjeseca maja do mjeseca oktobra;
 - ▶ Vlažni period godine je tretiran od mjeseca oktobra do mjeseca maja.

2.2. Ulazni parametri za model dinamičkog programiranja (DP model) upravljanja hidroakumulacijom Modrac

Ulazni parametri za izradu modela dinamičkog programiranja upravljanja hidroakumulacijom Modrac, kako za postojeće stanje tako i za planirano stanje su sljedeći:

- ▶ Pri izradi modela hidroakumulacije Modrac, zbog obimnosti svih podataka koji su korišteni, vremenski period (vremenski korak) uzet je $t=10$ dana (jedna dekada), tako da je jedna kalendarska godina podijeljena na trideset i šest (36) vremenskih perioda, odnosno 36 dekada;
- ▶ Visinske radne kote na brani Modrac (kota maksimalnog radnog nivoa, kota prelivnih polja, kota kontrafora, kota

2.3. Sekvence dotoka u hidroakumulaciju Modrac

Na osnovu promjene zapremine i nivoa u hidroakumulaciji i isticanja kroz temeljne ispuste na brani, određen je prirodni protok ili dotok u hidroakumulaciju.

Ova interakcija elemenata sistema iskorištena je za utvrđivanje protoka (dotoka).

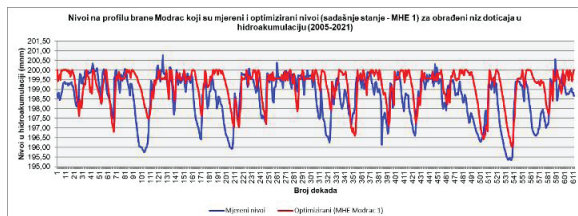
Za proračun dotoka na raspolaganju je bio 17 – godišnji niz osmatranja nivoa vode na profilu brane Modrac (2005 – 2021. godine). Na osnovu tih osmatranja i na osnovu analize

promjene dinamike zapremine te ispuštanja i zahvaćanja, određene su vrijednosti srednjih dekadnih dotoka u hidroakumulaciju. Ukupan broj srednjih dekadnih dotoka u akumulaciju za razmatrani 17 – godišnji niz iznosi 612.

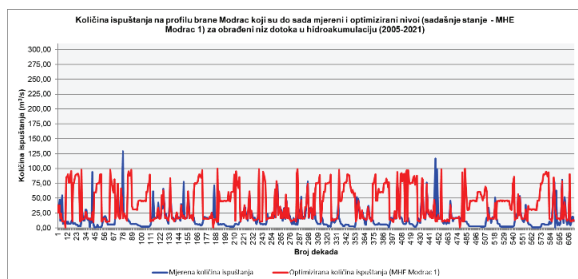
Sračunate dekadne sekvence dotoka u hidroakumulaciju Modrac, predstavljaju jedan od vitalnih ulaznih podataka za izradu modela dinamičkog programiranja upravljanja hidroakumulacijom Modrac.

3. Ilustracija rezultata

Na slici 1., prikazana je usporedba mjerenih postojećih nivoa na profilu brane Modrac i optimiziranih nivoa za formirane matematičke modele, tj. dinamički model za postojeće elemente sistema (mini hidroelektrana MHE Modrac 1) i za sračunate srednje dekadne vrijednosti dotoka u hidroakumulaciju Modrac za period od 2005–2021 godine.



Slika 1. Grafički prikaz mjerenih i optimiziranih nivoa za postojeće elemente sistema (MHE Modrac 1) za sračunate srednje dekadne vrijednosti dotoka u hidroakumulaciju Modrac za period od 2005–2021 godine

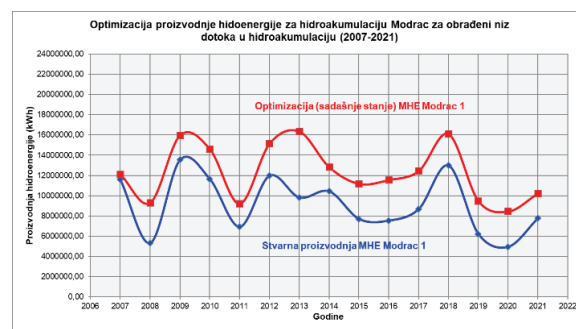


Slika 2. Grafički prikaz mjerenih i optimiziranih količina ispuštanja za postojeće elemente sistema (MHE Modrac 1) za period od 2005–2021. godine

Na slici 2., prikazana je usporedba količine ukupne ispuštanja koja je registrirano na

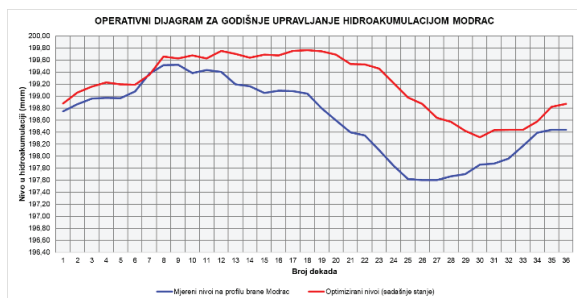
profilu brane Modrac i optimiziranih količina ispuštanja za formirane matematičke modele, tj. dinamički matematički model za postojeće elemente sistema (mini hidroelektrana MHE Modrac 1) za sračunate srednje dekadne vrijednosti dotoka u hidroakumulaciju Modrac za period od 2005–2021 godine.

Osim toga, prikazana je usporedba proizvodnje hidroenergije, odnosno stvarne proizvodnje, optimizacije rada hidroakumulacije za postojeće elemente sistema (MHE Modrac 1) što i predstavlja osnovu i cilj ovog rada da se optimizira stanje upravljanja sistemom hidroakumulacije Modrac i to za sračunate srednje dekadne vrijednosti dotoka u hidroakumulaciju Modrac za period od 2005–2021. godine (slika 2.).



Slika 3. Grafički prikaz optimizacije proizvodnje hidroenergije za hidroakumulaciju Modrac za period od 2005–2021 godine

Promatrajući sliku 3., proizvodnja hidroenergije za sračunate srednje dekadne vrijednosti dotoka u hidroakumulaciju Modrac za period od 2005–2021 godine procentualno bi bila veća za 26,80% razmatrajući stvarno stanje sistema (proizvodnja hidroenergije od početka instaliranja mini hidroelektrane MHE Modrac 1) i optimizirano postojeće stanje sistema hidroakumulacije Modrac.



Slika 4. Grafički prikaz operativnog dijagrama za godišnje upravljanje hidroakumulacijom Modrac za period od 2005-2021. godine

Na slici 4., prikazan je operativni dijagram za godišnje upravljanje hidroakumulacijom Modrac za sračunate srednje dekadne vrijednosti dotoka u hidroakumulaciju Modrac za period od 2005-2021. godine.

Taj dijagram, omogućava da se dugoročno upravlja sistemom po kriteriju maksimizacije proizvodnje.

Sva analiza je bazirana na proračunu i analizi srednje dnevnih dekadnih vrijednosti dotoka u hidroakumulaciju Modrac, nakon čega je izvršena optimizacija sistema za postojeće elemente sistema (MHE Modrac 1).

Vremenski korak uzet je $t=10$ dana (1 dekada) zbog obimnosti podataka koji su uzeti u analizu izrade matematičkih modela optimizacije upravljanja sistemom hidroakumulacijom Modrac.

4. Zaključak

Organizacija sistema se mora zasnivati na primjeni najsuvremenijih metoda, koje omogućavaju stalnu, iterativnu i interaktivnu optimalizaciju i procjenu, na svim nivoima upravljanja.

Sa povećanjem složenosti vodoprivrednih sistema biće sve neophodnija primjena sistema za podršku odlučivanju kako u fazi planiranja eventualno novih elemenata sistema, tako i u fazi njihove eksploatacije.

Dobiveni rezultati urađenih matematičkih modela predstavljaju sliku optimizacije sistema hidroakumulacije Modrac, gdje je izvršeno znatno poboljšanje rada sistema hidroakumulacije Modrac, odnosno „ponašanja sistema“ hidroakumulacije Modrac.

Optimizirani nivoi hidroakumulacije Modrac, tj. nivoi vode na profilu brane Modrac ne prelaze kotu preliva brane (200,00 m.n.m) zbog 10-odnevnog osrednjavanja za srednje dekadne dotoke u hidroakumulaciju, što sa aspekta kontrole poplava predstavlja vrlo važnu činjenicu za buduće upravljanje sistemom.

Slika 4. predstavlja operativni dijagram za godišnje upravljanje hidroakumulacijom Modrac za sračunate srednje dekadne vrijednosti dotoka u hidroakumulaciju Modrac za period od 2005-2021. godine.

Taj dijagram omogućava da se dugoročno upravlja sistemom po kriteriju maksimizacije proizvodnje hidroenergije.

Uočavaju se neke karakteristična pravila i smjernice dugoročne strategije upravljanja:

- Hidroakumulaciju treba puniti sve do početka maja mjeseca, do nailaska sušnog perioda, a zatim zapreminu akumulacije treba koristiti prema preporučenoj dinamici;
- Sušni period je tretiran od mjeseca maja do mjeseca oktobra i
- Vlažni period godine je tretiran od mjeseca oktobra do mjeseca maja.

Može se istaći da je analizirani diskretni model dinamičkog programiranja upravljanja sistemom hidroakumulacije Modrac procenualno za cca 29,30%, efikasniji i operativniji u odnosu na stvarni sistem hidroakumulacije Modrac.

Postavljeni model za upravljanje alokacijom

vode iz hidroakumulacije Modrac je značajan pri analizi mogućnosti realizacije proticaja i zapremine, odnosno nivoa u hidroakumulaciji u okviru dužih vremenskih perioda primjenom sračunatih sekvenci dotoka za razmatrani vremenski period.

Predlaže se da se slični upravljački modeli realiziraju i na drugim velikim hidroakumulacijama, posebno onim na objektima brana iznad naselja i riječnih dolina kojima se sada upravlja bez matematičkih modela, [13].

LITERATURA

- [1] Optimization of Multiple – Purpose Reservoir System Operation: A Review of Modeling and Analysis Approaches (1991): US Army Corps of Engineer, Hydrologic Engineer Center
- [2] Le Ngo, L. (2006): *Optimising reservoir operation A case study of the Hoa Binh reservoir, Vietnam*, Ph.D. Thesis
- [3] Wang, H.; Lei, X.; Guo, X.; Jiang, Y.; Zhao, T.; Wang, X.; Liao, W. (2016): *Advances in Water Resources Management, Handbook of Environmental Engineering, Volume 16*
- [4] P. Simonović, S. (2009): *Managing Water Resources Methods and Tools for a Systems Approach*, UNESCO i Taylor & Francis, ISBN: 978-92-3-104078-8 UNESCO
- [5] W. Labadie, J. (2004): *Optimal Operation of Multireservoir Systems: State-of-the-Art Review*, Journal of Water Resources Planning and Management ASCE, 10.1061/~ASCE073394962004 130:2~93
- [6] Gereš, D. (2003): *Upravljanje vodnim resursima na slivnom području*; u "Priručnik za hidrotehničke melioracije, III kolo, knjiga 1, strana 133
- [7] Opricović, S. (1998): *Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd
- [8] Husain, A.: (2012): *An Overview of Reservoir Systems Operation Tehniques*, International Journal of Engineering Research and Development, Volume 3, Issue 10, page 30-37, ISSN:2278-800X
- [9] Guo, S.; Liu, P.; Chen, L.; Li, X. (2011): *Deriving Optimal Refill Rules for Multi-Purpose Reservoir Operation*, Water Resource Management, 25:431-448, DOI 10.1007/s11269-010-9707-8
- [10] Kupusović, T., Vučijak B., Kovčić O. (2015): *Akumulacija Modrac i njeno funkcioniranje tijekom poplave u svibnju 2014. godine*, Časopis Hrvatske vode, broj 91, strana 19-28
- [11] Kovčić, O. (2017): *„Upravljanje hidroakumulacijama za višenamjensko korištenje, na primjeru jezera Modrac“*, doktorska disertacija, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko – geološko – građevinski fakultet
- [12] MATLAB Neural Network Toolbox, Politehnika Wroclawska
- [13] Đorđević, B.; Dašić, T.; Sudar, N. (2012): *Povećanje efikasnosti upravljanja akumulacijama u periodu odbrane od poplava - na primjeru hidroenergetskog sistema na Trebišnjici*, Časopis Vodoprivreda 0350-0519,44, 255-257 pp. 43-58

Trendovi u hidrološkim analizama/ rezultati analiza za određene HS u slivu Save

/

Trends in hydrological analysis/ results of analysis for certain HS in the Sava river basin

Mirza Mujčić, MA dipl. ing. građ.

Institut za hidrotehniku Sarajevo
mirza.mujcic@heis.ba

Nino Rimac, dipl. ing.

Federalni hidrometeorološki zavod
nino.rimac@fhmzbih.gov.ba

Mr. Nijaz Lukovac, dipl. ing. građ.

Institut za hidrotehniku Sarajevo
nijaz.lukovac@heis.ba

Azra Babić, hm. teh

Federalni hidrometeorološki zavod
azra.babic@fhmzbih.gov.ba

Svjetska meteorološka organizacija (WMO) definisala je „temeljne“ klimatske, odnosno hidrološke nizove u intervalu od 30 godina (1901.-1930. g.; 1931.-1960. g.; 1961.-1990. g. i 1991.-2020. g.). Temeljnim prikupljanjem i obradom hidrometrijskih podataka u periodu od 1961.-2020. g., za sliv rijeke Save kompletirani su hidrološki podaci za posljednja dva temeljna niza (1961.-1990. i 1991.-2020., sa izuzetkom perioda od 1991.-2000. g.). Time se hidrološki niz, odnosno period obrade, proširio na određenim stanicama i na 50 godina. Ovako dug niz za sistematsku obradu podataka za razmatrane vodotoke u hidrološkoj praksi još nije realizovan na razmatranom području - sliva rijeke Bosne i rijeke Une.

U navedenom su razdoblju na slivovima rijeka u BiH registrirane učestale ekstremno sušne godine (2003, 2007, 2011 i 2012. godina), kao i poplave (2005, 2010. i 2014. godina) koji su u direktnoj zavisnosti sa maksimalnim godišnjim proticajima.

Za slivove rijeke Bosne i rijeke Une izvršena je hidrološka analiza vjerovatnoće pojave maksimalnih godišnjih proticaja i analiza hidrološkog parametra „maksimalni godišnji proticaj“ primjenom modifikovane Conrad-Chapmen metode, koja je preporučena od strane WMO-a i to na tri hidrološke stanice u slivu rijeke Bosne: HS Maglaj (rijeka Bosna); HS Zavidovići (rijeka Krivaja) i HS Olovo (rijeka Krivaja) i tri u slivu rijeke Une: HS Kralje (rijeka Una); HS Rmanj Manastir (rijeka Unac) i HS Ključ (rijeka Sana).

Ovim izborom 6 referentnih hidroloških stanica uzete su u razmatranju hidrološke stanice koje imaju najveći niz podataka (stanice sa najmanje prekida u radu) čime su „pokrivene“ rijeke Bosna, Krivaja, Una, Unac i Sana. Rezultati obrade mogu poslužiti i za to da se u narednim projektima uđe sa relevantnim hidrološkim pokazateljima za sliv rijeke Bosne i rijeke Une.

Ključne riječi

Maksimalni godišnji proticaj, tok rijeke Bosne, tok rijeke Une

The World Meteorological Organization (WMO) has defined "fundamental" climatic and hydrological series in the interval of 30 years (1901.-1930.; 1931.-1960.; 1961.-1990. and 1991.-2020.). Through the process of detailed collection and analysis of hydrometric data in the period from (1961-2020.), hydrological data for last two basic series (1961.-1990. and 1991.-2020.), were completed for Sava River Basin, with the exception of period 1991.-2000. Thus, the hydrological series, or hydrological data analysis period, was expanded at certain stations to 50 years. Systematic data analysis of such a long series for considered watercourses in hydrological practice has not yet been implemented in the area under consideration - Bosna River Basin and Una River Basin.

In the above mentioned period, extremely dry years were registered in river basins in B&H (2000, 2003, 2007, 2011 and 2012), just as floods (1999, 2005, 2010 and 2014), which are directly dependent on the maximum annual flows.

For the Bosna River Basin and Una River Basin, hydrological analysis of the probability of occurrence of maximum annual flows and analysis of the hydrological parameter "maximum annual flow" was performed using the modified Conrad-Chapmen method, recommended by WMO, at three hydrological stations in Bosna River Basin: HS Maglaj (river Bosna); HS Zavidovići (river Krivaja) and HS Olovo (river Krivaja) and three in Una River Basin: HS Kralje (river Una); HS Rmanj Manastir (river Unac) and HS Ključ (river Sana).

With this selection of 6 reference hydrological stations, the hydrological stations with largest set of data (stations with least interruptions) were taken into consideration, thus including rivers Bosna, Krivaja, Una, Unac and Sana. The results of analysis can also be used for future projects with relevant hydrological indicators for Bosna River Basin and Una River Basin.

Key words

Maximum annual flow, Bosna River, Una River

Poplave predstavljaju jednu od najvećih opasnosti za ljudsku zajednicu i imaju značajan utjecaj na društveni i ekonomski razvoj. Enormna količina oborina koja je pogodila Bosnu i Hercegovinu u periodu od 14. do 19. maja 2014. godine, kada je zabilježena i najveća količina padavina u posljednjih 120 godina, zajedno sa pogoršanim stanjem okoliša povezanih sa faktorima kao što su erozija tla kroz krčenje šuma, uništavanje riječnog korita i izgradnji stambenih objekata u plavnim područjima, uzrokovale su katastrofalnu poplavu.

Posljedice (štete i gubici) uzrokovanih poplavom u Federaciji BiH procijenjene su na 2,03 milijardi KM. Uzimajući u obzir navedeno, analiza maksimalnih godišnjih proticaja, kroz hidrološke studije ili analize, za temeljne periode (1961.-1990. g. i 1991.-2020. g.) prema uputama Svjetske meteorološke organizacije su od velikog značaja.

Hidrološka studija površinskih voda Bosne i Hercegovine, u kojemu je obrađen temeljni niz 1961.-1990. godina za sliv rijeke Une i rijeke Bosne izdate su 2009. godine, odnosno 2012 godine.

Obzirom na značajniji period sistemskih hidroloških registriranja vodostaja i mjerenja protoka u XXI vijeku – najmanje 10 godina, a sve sa glavnim ciljem provođenja hidroloških obrada koje će obuhvatiti i period 2001.-2016. godina, a time i poplavu iz 2014. godine,

2017. godine ukazala se potreba za inoviranje prethodno izrađenih hidroloških studija. 2017. godine izdata je Inovirana hidrološka studija za sliv rijeke Une, a 2019. godine za sliv rijeke Bosne.

Temeljnim prikupljanjem i obradom hidrometrijskih podataka u periodu od 1961.-2020. g., za sliv rijeke Save kompletirani su hidrološki podaci za posljednja dva temeljna niza (1961.-1990. i 1991.-2020., sa izuzetkom perioda od 1991.-2000. g.). Time se hidrološki niz, odnosno period obrade, proširio na određenim stanicama i na 50 godina. Ovako dug niz za sistematsku obradu podataka za razmatrane vodotoke u hidrološkoj praksi još nije realizovan na razmatranom području – sliva rijeke Bosne i rijeke Une.

Analizom vjerovatnoća pojave maksimalnih godišnjih protoka, koje su prezentirane u hidrološkoj studiji (za period 1961.-1990.), u inoviranoj hidrološkoj studiji (za period 1961.-2016.) i dobijene zasebno obradom koja obuhvata dva temeljna niza (1961.-1990. i 1991.-2020. sa izuzetkom perioda od 1991.-2000. g.). moguće je dati ocjenu promjene vrijednosti pojave maksimalnih godišnjih protoka, odnosno definisati trendove u hidrološkim analizama/ rezultatima za određene HS u slivu Save (Sliv Une i Bosne).

1. Analizirane stanice i metodologija

Za sliv rijeke Bosne i rijeke Une izvršena je hidrološka analiza vjerovatnoće pojave maksimalnih godišnjih proticaja i analiza hidrološkog parametra „maksimalni godišnji proticaj“ primjenom modifikovane Conrad-Chapmen metode, koja je preporučena od strane WMO-a i to na tri hidrološke stanice u slivu rijeke Bosne: HS Maglaj (rijeka Bosna); HS Zavidovići (rijeka Krivaja) i HS Olovo (rijeka Krivaja) i tri u slivu rijeke Une: HS Kralje (rijeka Una); HS Rmanj Manastir (rijeka Unac) i HS Ključ (rijeka Sana).



Slika 1. Analizirane hidrološke stanice

Prethodno navedenim izborom 6 referentnih hidroloških stanica uzete su u razmatranju hidrološke stanice koje imaju najveći niz podataka (stanice sa najmanje prekida u radu) čime su "pokrivene" rijeke Bosna, Krivaja, Una, Unac i Sana.

Proračun vjerovatnoće pojave izvršen je za maksimalne godišnje proticaje za period od 1961.-2020. godine. Vrijednosti hidrološkog parametara raznog povratnog perioda su usvojene na temelju teorijskih funkcija raspodjele vjerovatnoće. Dakle, formirane su serije raspoloživih podataka, zatim je testirana primjena šest funkcija raspodjele vjerovatnoća na serijama raspoloživih podataka (Gaussian; Gumbel; Log-Normal; Frechet, Pearson III i Log-Pearson III). Maksimalni godišnji proticaji određenih povratnih perioda dobiveni su za svaku teorijsku vjerovatnoću. Empirijska raspodjela je opisana Weibull-ovim izrazom, a saglasnost raspodjela utvrđena Kolmogorov-Smirnovljevim i H12 testom. U konačnici, odabir usvojene raspodjele bio je diktiran prilagodbom nevedenim testovima, ali i zadovoljenjem bilansa velikih voda između hidroloških stanica.

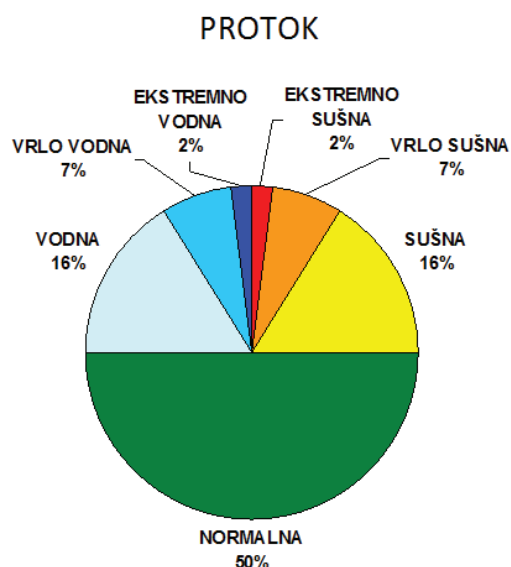
Vjerovatnoće pojave maksimalnih godišnjih proticaja za period 1961.-1990. i 1991.-2016. godinu, su preuzete iz navedene hidrološke, odnosno inovirane hidrološke studije.

Navedenim načinom, dobivene su vjerovatnoće pojave maksimalnih godišnjih proticaja, određenih za tri različita vremenska perioda, na osnovu kojih se može dati ocjenu trenda.

Za sliv rijeke Une i Bosne, primjenom modifikovane Conrad-Chapmen metode, koja je preporučena od strane WMO-a, analizirani su maksimalni godišnji proticaji prema sljedećoj klasifikaciji:

Protok Q (m ³ /s)	Percentili
Ekstremno sušna	<2
Vrlo sušna	2-9
Sušna	9-25
Normalna	25-75
Vodna	75-91
Vrlo vodna	91-98
Ekstremno vodno	>98

Tabela I. Conrad - Chapman klase



Slika 2. Grafički prikaz Conrad-Chapman-ovih klasa

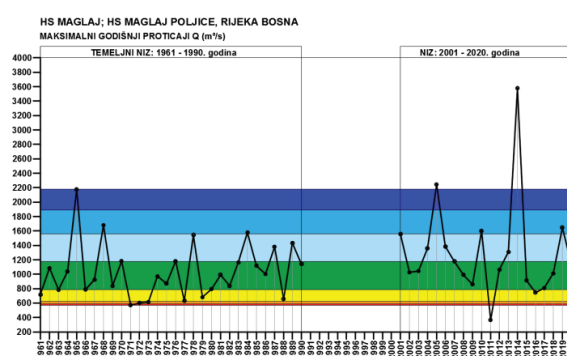
Usvajajući Conrad-Chapman-ovu metodologiju, za parametar maksimalnih godišnjih proticaja definirane su granične vrijednosti percentila za temeljni niz 1961.-1990. godina. Na taj način su dobivene odgovarajuće klase koje su korištene za procjenu 14-20 godina ovog vijeka. Maksimalne godišnje vrijednosti novog niza su svrstane u odgovarajuću klasu i na taj način je definirano odstupanje u odnosu na temeljni niz.

2. Rezultati analiza

U nastavku su prezentirane za svih 6 stanica, grafički prikaz maksimalnih godišnjih proticaja sa prikazom Conrad - Chapman klasa, grafički prikaz broja maksimalnih godišnjih proticaja iz XXI vijeka koje ulaze u odgovarajuće Conrad- Chapman klase - izražene u procentima, te grafički prikaz vjerovatnoće pojave maksimalnih godišnjih proticaja za tri razmatrana perioda (1961.-1990.; 1961.-2016. i 1961.-2020.) sa prikazom empirijske (Weibull) raspodjele koja odgovara periodu 1961.-2020.g.

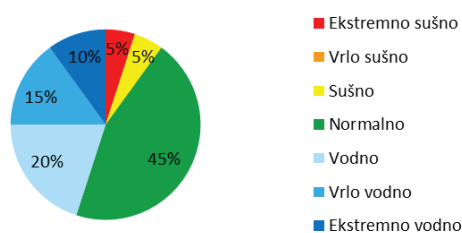
2.1. HS Maglaj, r. Bosna

Sliv rijeke Bosne, a samim tim i stanicu HS Maglaj, r. Bosna karakteriše ekstremni maksimalni godišnji proticaj iz 2014. godine. Također, analiziranjem maksimalnih godišnjih proticaja iz XXI vijeka (Conrad - Chapman metodom), dolazi se do podatka, da u klasama „ekstremno vodno“, „vrlo vodno“ i „vodno“ je 45% godina, u klasi „normalno“ 45% godina, dok je u klasama „sušno“, „vrlo sušno“ i „ekstremno sušno“ samo 10% godina.



Slika 3. Maksimalni godišnji proticaj sa prikazom Conrad - Chapman klasa, za HS Maglaj; Maglaj Poljice, r. Bosna; period 1961-1990; 2001-2020.

HS Maglaj, rijeka Bosna - $Q_{max, god}$

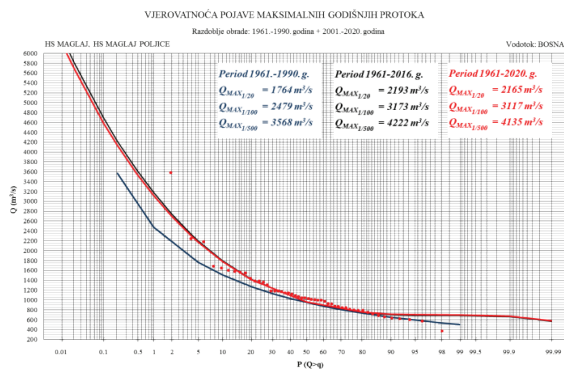


Slika 4. Prikaz broja maksimalnih godišnjih proticaja iz XXI vijeka koje ulaze u odgovarajuće Conrad-Chapman klase, izražene u procentima, HS Maglaj, r. Bosna

Ekstremna vrijednost maksimalnog godišnjeg proticaja iz 2014. godine, kao i „vodne“ godine u XXI vijeku, utjecale su na izrazitu promjenu vjerovatnoće pojave maksimalnih godišnjih proticaja.

Tako da za 100-godišnji povratni period, maksimalni godišnji proticaj na osnovu perioda 1961.-1990. je iznosio 2479 m³/s, dok za razmatrani period 1961.-2016. iznosi 3173 m³/s,

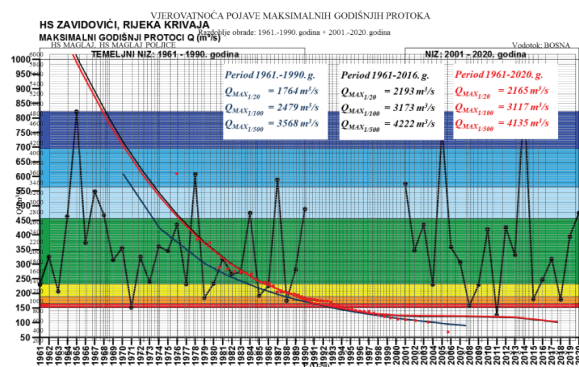
odnosno za razmatrani period 1961.-2020. iznosi $3117 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 5. Vjerovatnoća pojave maksimalnih godišnjih proticaja, za tri razmatrana perioda - HS Maglaj; HS Maglaj Poljice r. Bosna

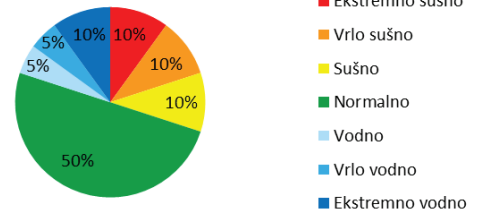
2.2. HS Zavidovići, r. Krivaja

Rijeku Krivaju, koja pripada slivu rijeke Bosne, a samim tim i HS Zavidovići n/K, također karakteriše ekstremna 2014. godina. Analizom maksimalnih godišnjih proticaja iz XXI vijeka (Conrad - Chapman metodom), dolazi se do podatka, da u klasama „ekstremno vodno“, „vrlo vodno“ i „vodno“ je 20% godina, u klasi „normalno“ 50% godina, dok je u klasama „sušno“, „vrlo sušno“ i „ekstremno sušno“ 30% godina.



Slika 6. Maksimalni godišnji proticaj sa prikazom Conrad - Chapman klasa, za HS Zavidovići, r. Krivaja; period 1961-1990; 2001-2020.

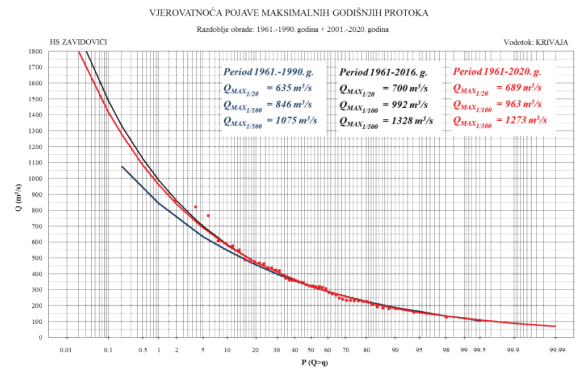
HS Zavidovići, rijeka Krivaja - $Q_{max, god}$



Slika 7. Prikaz broja maksimalnih godišnjih proticaja iz XXI vijeka koje ulaze u odgovarajuće Conrad-Chapman klase, izražene u procentima, HS Zavidovići, r. Krivaja

Ekstremna vrijednost maksimalnog godišnjeg proticaja iz 2014. godine, najznačajnije je utjecala na promjenu vjerovatnoće pojave maksimalnih godišnjih proticaja.

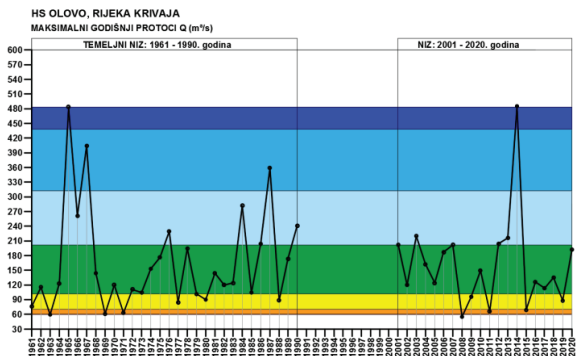
Tako da za 100-godišnji povratni period, maksimalni godišnji proticaj na osnovu perioda 1961.-1990. je iznosio $846 \text{ m}^3/\text{s}$, dok za razmatrani period 1961.-2016. iznosi $992 \text{ m}^3/\text{s}$, odnosno za razmatrani period 1961.-2020. iznosi $963 \text{ m}^3/\text{s}$.



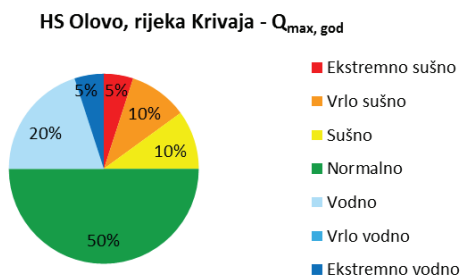
Slika 8. Vjerovatnoća pojave maksimalnih godišnjih proticaja, za tri razmatrana perioda - HS Zavidovići, r. Krivaja

2.3. HS Olovo, r. Krivaja

Slična situacija, kao i na HS Zavidovići, r. Krivaja, prisutna je i na HS Olovo, r. Krivaja. Analizom maks. godišnjih proticaja iz XXI vijeka (Conrad - Chapman metodom), dolazi se do podatka, da u klasama „ekstremno vodno“, „vrlo vodno“ i „vodno“ je 25% godina, u klasi „normalno“ 50% godina, dok je u klasama „sušno“, „vrlo sušno“ i „ekstremno sušno“ 25% godina.



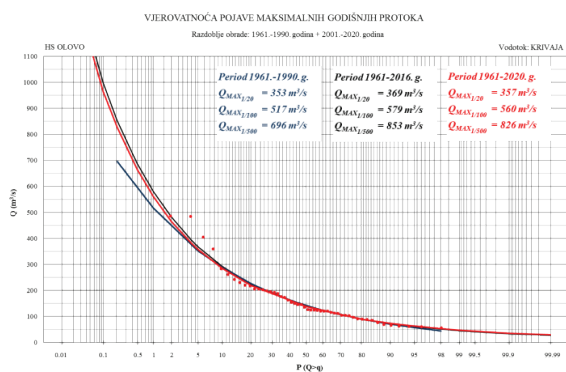
Slika 9. Maksimalni godišnji proticaj sa prikazom Conrad – Chapman klasa, za HS Olovo, r. Krivaja; period 1961-1990; 2001-2020.



Slika 10. Prikaz broja maksimalnih godišnjih proticaja iz XXI vijeka koje ulaze u odgovarajuće Conrad-Chapman klase, izražene u procentima, HS Olovo, r. Krivaja

Ekstremna vrijednost maksimalnog godišnjeg proticaja iz 2014. godine, je utjecala na promjenu vjerovatnoće pojave maksimalnih godišnjih proticaja.

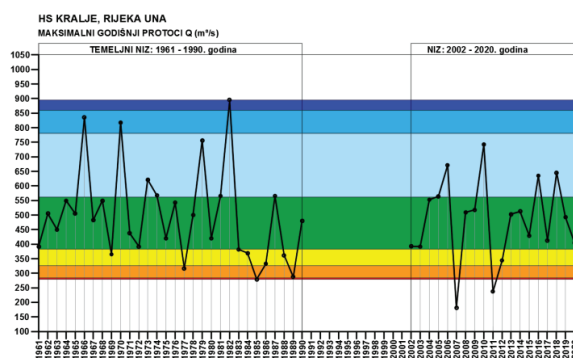
Tako da za 100-godišnji povratni period, maks. godišnji proticaj na osnovu perioda 1961.-1990. je iznosio 696 m³/s, dok za razmatrani periodi 1961.-2016. iznosi 853 m³/s, odnosno za razmatrani period 1961.-2020. iznosi 826 m³/s.



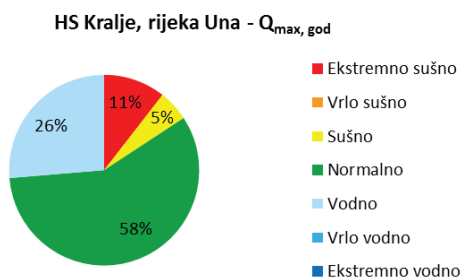
Slika 11. Vjerovatnoća pojave maksimalnih godišnjih proticaja, za tri razmatrana perioda - HS Olovo, r. Krivaja

2.4. HS Kralje, r. Una

Za razliku od sliva rijeke Bosne, sliv rijeke Une (sa izuzetkom rijeke Sane) ne karakteriše ekstremna vrijednost proticaja iz 2014. godine. Analizom maksimalnih godišnjih proticaja iz XXI vijeka (Conrad – Chapman metodom), dolazi se do podatka, da u klasama „ekstremno vodno“, „vrlo vodno“ i „vodno“ je 26% godina, u klasi „normalno“ 58% godina, dok je u klasama „sušno“, „vrlo sušno“ i „ekstremno sušno“ 16% godina.



Slika 12. Maksimalni godišnji proticaj sa prikazom Conrad – Chapman klasa, za HS Kralje, r. Una; period 1961-1990; 2002-2020.

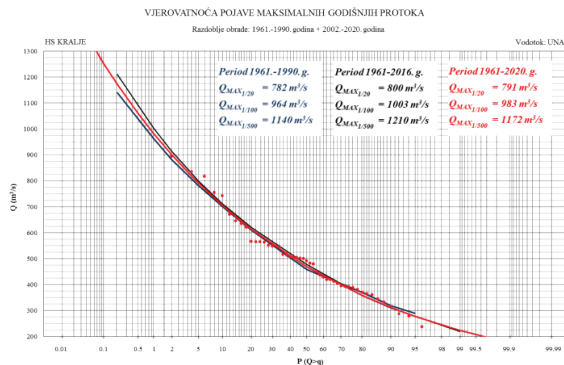


Slika 13. Prikaz broja maksimalnih godišnjih proticaja iz XXI vijeka koje ulaze u odgovarajuće Conrad-Chapman klase, izražene u procentima, HS Kralje, r. Una

„Vodne“ godine u XXI vijeku, bez ekstremnih vrijednosti proticaja, uzrokovale su blago povećanje vrijednosti vjerovatnoće pojave maksimalnih godišnjih proticaja.

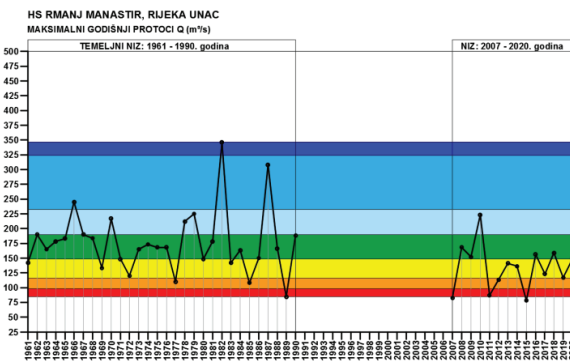
Tako da za 100-godišnji povratni period, maksimalni godišnji proticaj na osnovu perioda 1961.-1990. je iznosio 964 m³/s, dok za razmatrani periodi 1961.-2016. iznosi 1003 m³/s,

odnosno za razmatrani period 1961.-2020. iznosi 983 m³/s.



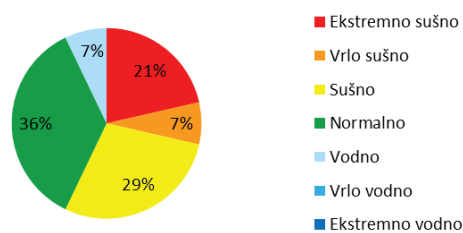
Slika 14. Vjerovatnoća pojave maksimalnih godišnjih proticaja, za tri razmatrana perioda - HS Kralje, r. Una

2.5. HS Rmanj Manastir, r. Unac



Slika 15. Maksimalni godišnji proticaj sa prikazom Conrad - Chapman klasa, za HS Rmanj Manastir, r. Unac; period 1961-1990; 2007-2020.

HS Rmanj Manastir, rijeka Unac - $Q_{max, god}$



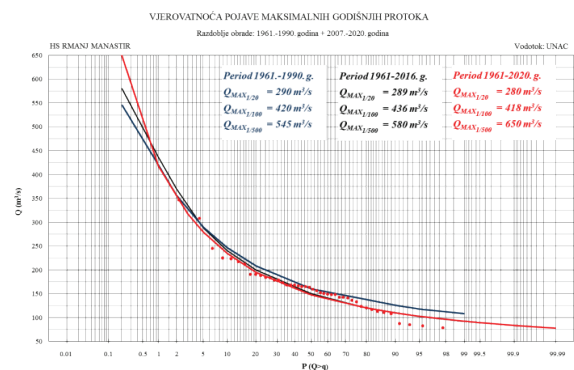
Slika 16. Prikaz broja maksimalnih godišnjih proticaja iz XXI vijeka koje ulaze u odgovarajuće Conrad - Chapman klase, izražene u procentima, HS Rmanj Manastir, r. Unac

Slična situacija, bez ekstremno velikih proticaja, kao i na rijeci Una, je situacija i na rijeci Unac. Analizom maksimalnih godišnjih proticaja iz XXI vijeka (Conrad - Chapman

metodom), dolazi se do podatka, da u klasama „ekstremno vodno“, „vrlo vodno“ i „vodno“ je 7% godina, u klasi „normalno“ 36% godina, dok je u klasama „sušno“, „vrlo sušno“ i „ekstremno sušno“ 57% godina.

Normalne, odnosno većinom „sušne“ godine u XXI vijeku, uzrokovale su blagi pad vrijednosti vjerovatnoće pojave maksimalnih godišnjih proticaja, upoređujući period 1961.-1990. i 1961.-2020. g.

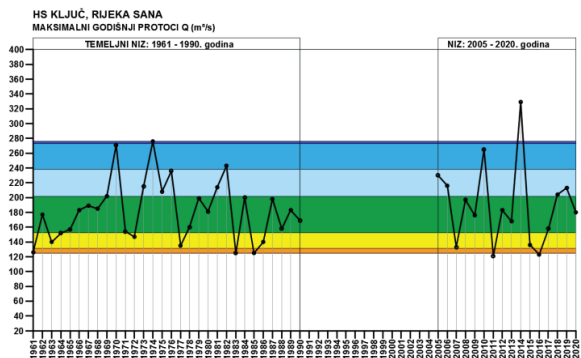
Tako da za 100-godišnji povratni period, maksimalni godišnji proticaj na osnovu perioda 1961.-1990. je iznosio 420 m³/s, dok za razmatrani period 1961.-2016. iznosi 436 m³/s, odnosno za razmatrani period 1961.-2020. iznosi 418 m³/s.



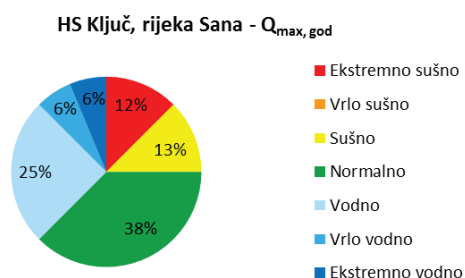
Slika 17. Vjerovatnoća pojave maksimalnih godišnjih proticaja, za tri razmatrana perioda - HS Rmanj Manastir, r. Unac

2.6. HS Ključ, r. Sana

HS Ključ, r. Sana, karakteriše, kao i sliv rijeke Bosne, ekstremna vrijednost proticaja iz 2014. godine. Analizom maksimalnih godišnjih proticaja iz XXI vijeka (Conrad - Chapman metodom), dolazi se do podatka, da u klasama „ekstremno vodno“, „vrlo vodno“ i „vodno“ je 37% godina, u klasi „normalno“ 38% godina, dok je u klasama „sušno“, „vrlo sušno“ i „ekstremno sušno“ 25% godina.



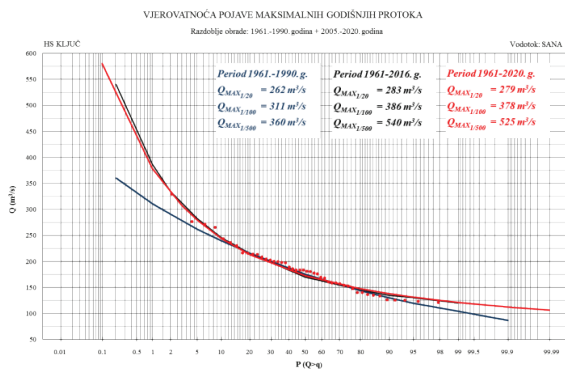
Slika 18. Maksimalni godišnji proticaj sa prikazom Conrad – Chapman klasa, za HS Ključ, r. Sana; period 1961-1990; 2006-2020.



Slika 19. Prikaz broja maksimalnih godišnjih proticaja iz XXI vijeka koje ulaze u odgovarajuće Conrad-Chapman klase, izražene u procentima, HS Ključ, r. Sana

Ekstremna vrijednost maksimalnog godišnjeg proticaja iz 2014. godine, je utjecala na promjenu vjerovatnoće pojave maksimalnih godišnjih proticaja.

Tako da za 100-godišnji povratni period, maks. godišnji proticaj na osnovu perioda 1961.-1990. je iznosio 311 m³/s, dok za razmatrani periodi 1961.-2016. iznosi 386 m³/s, odnosno za razmatrani period 1961.-2020. iznosi 378 m³/s.



Slika 20. Vjerovatnoća pojave maksimalnih godišnjih proticaja, za tri razmatrana perioda - HS Ključ, r. Sana

3. Zaključna razmatranja

Prethodna prikazana analiza je pokazala, da na rijekama, odnosno hidrometrijskim stanicama na kojima su zabilježene ekstremne vrijednosti maksimalnih godišnjih proticaja u 2014. g. je došlo do značajnog povećanja vrijednosti vjerovatnoće pojave maksimalnih godišnjih proticaja. Tabelarni prikaz maksimalnih godišnjih proticaja je dat u nastavku:

		HS Maglaj, r. Bosna	HS Zavidovići, r. Krivaja	HS Olovo, r. Krivaja	HS Kralje, r. Una	HS Rmanj Manastir, r. Unac	HS Ključ, r. Sana
Q20 (m ³ /s)	1961-1990	1764	635	353	782	290	262
	1961-2016	2193	700	369	800	289	283
	1961-2020	2165	689	357	791	280	279
Q100 (m ³ /s)	1961-1990	2479	846	517	964	470	311
	1961-2016	3173	992	579	1003	436	386
	1961-2020	3117	963	560	983	418	378
Q500 (m ³ /s)	1961-1990	3568	1075	696	1140	545	360
	1961-2016	4272	1378	853	1210	580	540
	1961-2020	4135	1273	826	1172	650	525

Tabela II. Maksimalni godišnji proticaji (Q_{20'}, Q₁₀₀ i Q₅₀₀)

Posmatrajući 100- godišnji povratni period, uočava se povećanje maksimalnog godišnjeg proticaja na svim stanicama uzimajući u obzir period 1961.-2016. g. i 1961.-1990. g. Najveće povećanje vrijednosti maksimalnog godišnjeg proticaja je zabilježeno na HS Maglaj, r. Bosna 28%, slijedi HS Ključ, r. Sana 24%; HS Zavidovići, r. Krivaja 17 % i HS Olovo, r. Krivaja 12 %. Najmanje povećanje zabilježeno je na hidrološkim stanicama koje nisu imali ekstremnu 2014 godinu, HS Kralje, r. Una i HS Rmanj Manastir, r. Unac 4%.

Posmatrajući niz 1961.-2020., uočava se smanjenje maksimalnog godišnjeg protoka od 2-4 % na svim stanicama, poredeći je sa nizom 1961-2016 g. Navedena analiza, navodi, da bi u slučaju da postoje nedostajući podaci o maksimalnim godišnjim proticajima iz perioda 1991.-2000., odnosno na nekim stanicama do 2006. g., maksimalni godišnji proticaj 100- godišnjeg povratnog perioda, na stanicama na kojima su zabilježeni ekstremne vrijednosti 2014 godine, bile nešto manje nego one koje su prikazane u prethodnoj tabeli za period 1961.-2020., ali i dalje značajnije veće nego one za period 1961.-1990. g.

LITERATURA

- [1] HIDROLOŠKA STUDIJA POVRŠINSKIH VODA BOSNE I HERCEGOVINE, SLIV RIJEKE BOSNE (KNJIGA 7: VS MAGLAJ POLJICE RIJEKA BOSNA; KNJIGA 16: VS OLOVO RIJEKA KRIVAJA; KNJIGA 17: VS ZAVIDOVIĆI RIJEKA KRIVAJA)/ „Zavod za vodoprivredu“ d.d. Sarajevo, Federalni hidrometeorološki zavod, „Agencija za vodno područje rijeke Save“ Sarajevo, „Agencija za vode oblasnog riječnog sliva Save“ Bijeljina; 2011 g.
- [2] HIDROLOŠKA STUDIJA POVRŠINSKIH VODA BOSNE I HERCEGOVINE, SLIV RIJEKE UNE (KNJIGA 6: VS KRALJE RIJEKA UNA; KNJIGA 12: VS RMANJ MANASTIR RIJEKA UNAC; KNJIGA 15: VS KLJUČ RIJEKA SANAJ)/ „Zavod za vodoprivredu“ d.d. Sarajevo, Federalni hidrometeorološki zavod, „Agencija za vodno područje rijeke Save“ Sarajevo, „Agencija za vode oblasnog riječnog sliva Save“ Bijeljina; 2009 g.
- [3] HIDROLOŠKA STUDIJA SLIVA RIJEKE BOSNE, FEDERACIJA BIH (KNJIGA 7: VS MAGLAJ RIJEKA BOSNA; KNJIGA 12: VS OLOVO RIJEKA KRIVAJA; KNJIGA 13: VS ZAVIDOVIĆI RIJEKA KRIVAJA)/ „Institut za hidrotehniku Sarajevo“, „Agencija za vodno područje rijeke Save“ Sarajevo, Federalni hidrometeorološki zavod; 2019 g.
- [4] HIDROLOŠKA STUDIJA SLIVA RIJEKE UNE, FEDERACIJA BIH (KNJIGA 3: VS KRALJE RIJEKA UNA; KNJIGA 8: VS RMANJ MANASTIR RIJEKA UNAC; KNJIGA 13: VS KLJUČ RIJEKA SANAJ)/ „IPSA Institut d.o.o. Sarajevo“, Institut za elektroprivredu d.d. Zagreb, „Agencija za vodno područje rijeke Save“ Sarajevo; 2017 g.
- [5] HIDROLOŠKI GODIŠNJAK, KNJIGA 1, HIDROLOGIJA 2017., BOSNA I HERCEGOVINA, FEDERACIJA BOSNE I HERCEGOVINE/ Federalni hidrometeorološki zavod, „Agencija za vodno područje rijeke Save“, Sarajevo; Agencija za vodno područje Jadranskog mora“, Mostar; 2020 g.
- [6] HIDROLOŠKI GODIŠNJAK, KNJIGA 1, HIDROLOGIJA 2018., BOSNA I HERCEGOVINA, FEDERACIJA BOSNE I HERCEGOVINE/ Federalni hidrometeorološki zavod, „Agencija za vodno područje rijeke Save“, Sarajevo; Agencija za vodno područje Jadranskog mora“, Mostar; 2021 g.
- [7] PODACI SA HIDROLOŠKIH STANICA HS MAGLAJ R. BOSNA, HS ZAVIDOVIĆI R. KRIVAJA, HS OLOVO R. KRIVAJA, HS KRALJE R. UNA, HS RMANJ MANASTIR R. UNAC I HS KLJUČ R. SANAJ/ „Agencija za vodno područje rijeke Save“, i Federalni hidrometeorološki zavod Sarajevo, 2019-2020 g.
- [8] PROCJENA POTREBA ZA OPORAVKOM I OBNOVOM U BOSNI I HERCEGOVINI, POPLAVE 14-19 MAJA/ Ministarstvo vanjskih poslova BiH: <https://mvp.gov.ba>; 2014 g.
- [9] INŽENJERSKA HIDROLOGIJA/ Husno Hrelja, Građevinski Fakultet Univerziteta u Sarajevu; 2007 g.

Uticaj izgradnje brze ceste Mostar -Široki na postojeću kanalsku mrežu Imotsko- Grudskog polja

/

The impact of the construction of the Mostar - Široki highway on the existing canal network of Imotski - Grudsko polje

Arnela Konak, MCE.dipl.ing.građ.

IPSA Institut d.o.o., Put života bb
arnela.konak@ipsa-institut.com

Indira Murtić, MCE.dipl.ing.građ

IPSA Institut d.o.o., Put života bb
indira.murtic@ipsa-institut.com

Adnan Habibović, MCE.dipl.ing.građ.

IPSA Institut d.o.o., Put života bb
adnan.habibovic@ipsa-institut.com

Imotsko – bekijsko polje predstavlja zatvorenu krašku dolinu koja prema svojim morfološkim karakteristikama i hidrogeološkim odnosima pripada slivu rijeke Neretve, a prema istraživanjima dio sliva direktno otječe u Jadransko more. Od ukupnih raspoloživih površina oko 70% je izloženo periodičnom plavljenju manjeg ili većeg intenziteta trajanja. Polje je zatvorena kraška depresija na čijim rubovima su se formirale tipične kraške pojave: vrtače, estavele, ponori i kraški izvori. Trenutno stanje odvodno-natapnih kanala koje presjeca planirana brza cesta Mostar – Široki je zapušteno i nefunkcionalno. Izgradnjom ove brze ceste dovodi se u pitanje daljna funkcija i mogućnost upotrebe kanala, kako za navodnjavanje, tako i za odvodnju vode u kišnom razdoblju.

Kako bi se omogućilo dalje funkcionisanje odvodno-natapnih kanala, predviđena su odgovarajuća rješenja za smanjenje uticaja izgradnje brze ceste na postojeće stanje.

Ključne riječi

Imotsko-bekijsko polje, odvodno – natapni kanali, brza cesta, obodni kanali, propusti

Imotsko – bekijsko polje is a closed karst valley which, according to its morphological characteristics and hydrogeological relations, belongs to the Neretva river basin, and according to research, part of the basin flows directly into the Adriatic Sea. From the total available areas, about 70% are exposed to periodic flooding of lesser or greater intensity. The field is a closed karst depression on the edges of which typical karst phenomena have formed: sinkholes, estavelles, abysses and karst springs. The current state of drainage and irrigation canals intersected by the planned highway Mostar – Široki is neglected and dysfunctional. The construction of this highway has disrupted the functioning and the possibility of using the canal, both for irrigation, and for drainage of water in the rainy season.

In order to enable the further functioning of drainage and irrigation canals, appropriate solutions are envisaged to reduce the impact of the construction of the highway on the existing condition.

Key words

Imotsko – bekijsko polje, drainage – irrigation canals, highway, perimeter channel, culverts

Imotsko – Bekijsko polje površine 9.500 ha čini prirodnu cjelinu koja se administrativno nalazi na prostoru dviju država: Republike Hrvatske (RH) i Bosne i Hercegovine (BiH). Predmet ovog referata je istočni dio polja tzv. Bekijsko polje koje je smješteno na teritoriji BiH sa ukupnom površinom od 5.100 ha i nalazi se na području općine Grude. Zapadni dio polja, odnosno Imotsko polje površine 4.400 ha smješteno je na teritoriju RH, na području općina Proložac, Lokvičići, Podbablje, Zmijavci, Runovići i Grada Imotskog.

Hidrografski, Imotsko polje je mokro i zatvoreno polje. Mokra su ona polja koja imaju jedan ili više stalnih riječnih tokova i izvora. Izvori Jauk, Opačac i Dva oka stvaraju rijeku Vrljiku (sa srednjim godišnjim protokom oko 10 m³/s) koja krivuda Imotskim poljem i nestaje u ponoru Šainovac u Bekijskom polju. Osim ovoga, periodična bujica Suvaja je prije gradnje akumulacije Ričice donosila vode sa područja Vira, kišnih mjeseci, koje su se ulijevale nakon gradnje nasipa i kanala Sije u Vrljiku kod sela Nebriževac. Prava zatvorena polja nemaju površinskih izlaza za vodotoke, već voda lagano odlazi kroz jedan ili više ponora. Taj izlaz za vodu Imotskog polja je već prirodni ponor – špilja Šainovac. Vrljika poslije nastavlja put u selu Peć Mlini kao rijeka Tihaljina, Mlada i kao Trebižat se ulijeva u Neretvu.

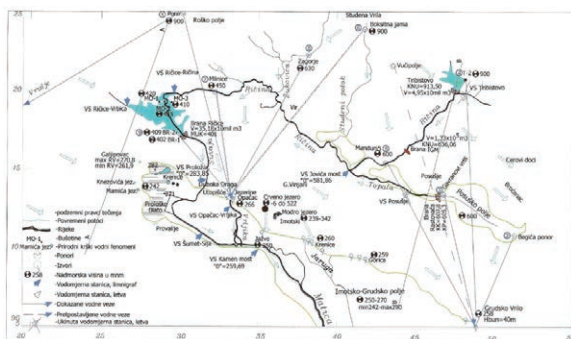
Ponor Šainovac nekad nije mogao progutati dovoljne količine vode pa je i Imotsko polje u bliskoj prošlosti znalo poplavljavati više mjeseci u godini.

Zbog toga se pristupilo probijanju umjetnog tunela u blizini ponora u Nugi 1938. godine i time je Imotsko polje, uvjetno rečeno, pretvoreno u otvoreno polje. Zanimljivo je da je projekt kapaciteta odvodnje tunela bio projektovan na principu 6:6, tj. da se odvodnja vrši u vrijeme 01.04. – 30.09., a da sve ostalo vrijeme polje bude poplavljeno. To naravno nije bilo zadovoljavajuće rješenje. Gradnjom moderne hidroelektrane u Peć Mlinima i novim tunelom većeg kapaciteta Imotsko polje je umjetnim putem pretvoreno u otvoreno polje što donosi niz prednosti.

Planirana brza cesta (BC) presjeca postojeće odvodno-natapne kanale, te je bilo neophodno na odgovarajući način riješiti ove kolizije, što će u nastavku rada biti detaljnije opisano.

1. Opis odvodno – natapnih kanala

Imotsko – bekijsko polje predstavlja zatvorenu krašku dolinu koja prema svojim morfološkim karakteristikama i hidrogeološkim odnosima pripada slivu rijeke Neretve, a prema istraživanjima dio sliva direktno otječe u Jadransko more. Od ukupnih raspoloživih površina oko 70% je izloženo periodičnom plavljenju manjeg ili većeg intenziteta trajanja. Polje leži na nadmorskoj visini od oko 250m.n.m do 270 m.n.m. Polje je zatvorena kraška depresija na čijim rubovima su se formirale tipične kraške pojave: vrtače, uvale, estavele, ponori i kraški izvori. Zona dotjecanja voda u polje je njegov sjeveroistočni obod, dok je jugozapadni rub zona podzemnog otjecanja iz polja. Imotsko – Bekijsko polje je smješteno u zaleđu Biokova i dugo je 33 kilometra, ako računamo da počinje od jezera Galipovac na krajnjem sjeverozapadu do sela Draganić kod Gruda.



Slika 1. Pregledna hidrogeološka karta Imotsko – Bekijskog polja¹

S obzirom da su postojeći kanali zapušteni i nefunkcionalni, urađen je „Glavni projekat sanacije i rekonstrukcije odvodno – natapnih kanala u Imotsko – bekijskom polju“ od strane Građevinskog fakulteta sveučilišta u Mostaru i Građevinskog istraživačkog centra, 2018. godine. Glavnim projektom¹ iz 2018. godine, izvršen je uvid u postojeće stanje, predložene

1

Idejni projekat navodnjavanja Imotsko–Bekijskog polja, Mostar, lipanj 2015. godine, Građevinski fakultet sveučilišta u Mostaru

su potrebne mjere i radnje za sanaciju i rekonstrukciju postojećih kanala, kao i potrebne mjere da bi se doveli u radnu funkciju i moguću upotrebu, kako za navodnjavanje i natapanje polja, tako i za odvodnju vode u kišnom razdoblju. Ovaj projekat je poslužio kao glavna podloga prilikom određivanja lokacija kolizija postojećih kanala sa projektovanom BC(Slika 2).



Slika 2. Postojeći odvodno natapni kanal

Opisani odvodno-natapni kanali su dio kompletnog sistema za odbranu od plavljenja Imotsko-Bekijskog polja. Pored ovog potrebno je izgraditi niz objekata i tehničkih rješenja za odbranu od plavljenja Bekijskog polja (BiH). Pored retencije Prološko blato i akumulacije Ričice u Imotskom dijelu polja, izvedena je i akumulacija Nuga u Bekijskom polju. Volumen akumulacije Nuga je 12,7 miliona m³, dok joj je kota uspora 257 m n.m. Akumulacija Nuga je predviđena kao gornji bazen HE Peć – Mlini.

Voda se iz akumulacije Nuga sprovodi hidrotehničkim tunelom do HE Peć – Mlini i tunelom Pečnik u tok rijeke Trebižat.

Mreža odvodno-natapnih kanala je djelimično

izgrađena od toga na prostoru Bekijskog polja su kanali Jaruga i Šipovača kao nastavak kanala iz Imotskog polja. Ova dva kanala ulaze u kanal koji dolazi iz sjevernog dijela polja i vodu dalje vodi u Vrliku (Mladu). Također je izveden dio kanal Grude – Vrlika, čija trasa ide približno po obodu brda. Ovaj kanal započinje kod Grudskog vrela, ide dalje prema Kongori, Boljavi, Bijelom polju i na posljertku ulazi u ušće Vrlike.

Glavni melioracijski vodotok je rijeka Vrlika, koja prikuplja sve vode (s prostora Imotskog polja i Bekijskog polja) i vodi ih u akumulaciju Nuga.

Navodnjavanje je općenito vrlo rentabilna mjera u klimatskim uvjetima ovoga područja, a pogotovo na tlima potencijalno velike mogućnosti, kao što je to slučaj sa Imotsko-Bekijskim poljem. I pored relativno velikih ukupnih godišnjih oborina, radi lošeg rasporeda u toku vegetacijskog perioda, često se pojavljuje nedostatak vlage u kritičnim razvojnim fazama najveće potrebe vode kod većine kultura, a što obično snižava prinose kultura. Kako bi se osigurali trajni, stabilni i visoki prinosi te kako bi se odstranila nesigurnost za maksimalne investicije u agrotehničke mjere, potrebno je iskoristiti sve mogućnosti navodnjavanja na ovom području.

2. Trasa brze ceste kroz Imotsko-Bekijsko polje

Dionica novoprojektovane brze ceste Mostar – Široki od km 30+400 do granice sa Republikom Hrvatskom prolazi kroz Imotsko – Bekijsko polje, u čijem je sastavu i Grudsko polje. U centralnim dijelovima polja, ispod humusa se nalaze prašinsto – glinovite naslage. Teren je u potpunosti pokriven gornjim slojem prašinsto – glinovitog tla, sa dosta humusa, debljine 0,20 – 1,00m. Hidrogeološke osobine dominantnih prašinsto – glinenih naslaga su izražena vertikalna vodonepropusnost,

međutim lokalne pojave s većim udjelom pjeskovitih i šljunkovitih naslaga imaju povećanu horizontalnu vodopropusnost. Na ovom potezu brze ceste je predviđeno da se ispusti unutrašnje i vanjske odvodnje vrše u postojeće odvodno-natapne kanale.



Slika 3. Trasa novoprojektovana brze ceste kroz Imotsko-Bekijsko polje

Najveći vodotok u Imotsko – Bekijskom polju je rijeka Vrlika, ponornica koja nakon svakog ponora mijenja ime (na nizvodnim dionicama je poznata pod imenima Tihaljina, Mlada, i Trebižat). Sve vode dopijevaju u najniže dijelove polja, na jugoistoku, gdje se zbog nepovoljnih evakuacijskih kapaciteta ponora formiraju poplavne retencije Nuge, Prispa i Baran. U zoni izgradnje saobraćajnice, formira se retencija Baran (Slike 3).



Slika 4. Poplavljeno grudsko polje (retencija Baran) na dijelu Matice grudske – grudsko vriilo (decembar 2020. godine; preuzeto iz HG ELABORATA)

S obzirom na hidrogeološke karakteristike Grudskog polja, koje je tipično kraško polje zatvorenog tipa, ono često plavi i poplave dugo traju (slika 4. i 5.). Prije izgradnje tunela Pećnik (1951. godina), poplave su u prirodnim uslovima trajale od 120 do 180 dana. Nakon

izgradnje tunela trajanje poplava je smanjeno na 30–35 dana. Evakuacijski kapacitet tunela je dosta veći od onog koji se koristi, i zavisi od vodnog režima na donjem horizontu doline rijeke Tihaljine. Maksimalni proticaji tunela se regulišu, kako ne bi došlo do poplava nizvodno od Grudskog polja, u dolini rijeke Tihaljina – Mlada – Trebižat.

Sve poplavne vode Grudskog polja se dovode do prirodne retencije Nuge, u blizini tunela Pećnik, te se kroz osnovne vodoprivredne objekte evakuiraju u rijeku Tihaljinu. Evakuacija vode je ograničena propusnom moći korita rijeke Tihaljina – Mlada – Trebižat.



Slika 5. Plavno područje grudskog polja (retencija Baran) za vrijeme rekordnih poplava u maju 2014. godine

Postojeća mreža odvodno-natapnih kanala na prostoru Bekijskog dijela polja, je djelimično riješila problem odvodnje. U uvjetima vlažnog perioda – kišno dijela godine ponovo se javljaju poplave dijela IB polja, koje su posljedica složenog hidrološkog ciklusa (novo stanje – posljedica izgradnje novih akumulacija i smanjenog odljeva sa polja, odnosno povećanog dotoka u IB polje).

Glavni odotok je rijeka Vrljica, koja prikuplja sve vode (s prostora Imotskog polja i Bekijskog polja) i vodi ih u akumulaciju Nuga. Voda iz akumulacije Nuga se dalje vodi na turbine HE Peć – Mlini i drugim dijelom nizvodno u korito rijeke Trebižat.

Trasa novoprojektovane brze ceste presjeca postojeću mrežu odvodno-natapnih kanala, te na taj način narušava samo funkcionisanje i daljnje upravljanje kanalima. Kako bi se održalo a samim tim i poboljšalo daljnje funkcionisanje odvodno natapnih-natapnih kanala koji su od velike važnosti kako za navodnjavanje u klimatskim uvjetima kakvi su na ovom području, tako i za sam režim u koritama rijeka, dat je prijedlog rješenja za daljnje funkcionisanje kanala usljed izgradnje brze ceste.

3. Uticaj BC na postojeće kanale

3.1. Prijedlog rješenja daljnog funkcionisanja odvodno natapnih kanala

Izgradnjom brze ceste Mostar-Široki, pored toga što se presjeca postojeća mreža odvodno-natapnih kanala trupom ceste se stvara brana između postojeće magistralne ceste M6 i novoprojektovane brze ceste. S tim u vezi voda ostaje zarobljena između postojeće magistralne ceste i novoprojektovane brze ceste.

Magistralna cesta ima izgrađen sistem vanjske odvodnje, koji se sastoji od obodnih jaraka i propusta. Uzimajući gore navedeno u obzir, magistralna cesta M6 se može posmatrati kao vododjelnica odnosno, slivne površine koje gravitiraju ka novoprojektovanoj brznoj cesti se mogu redukovati. Na slici ispod je prikazan postojeći obodni jarak magistralne ceste M6.

Za evakuaciju voda sa uzvodne ka nizvodnoj strani saobraćajnice, a naposljetku do recipijenta, korišteni su propusti kojima se kroz trup saobraćajnice sakupljena voda propušta kako ne bi stvarala nepovoljne posljedice na novoprojektovanu saobraćajnicu.

Projektovani su propusti kružnog presjeka, a veličina presjeka određena je u skladu sa

pripadajućim količinama vode i preporukama datim u „Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima“. Novoprojektovani propusti kroz brzu cestu su dimenzija $\varnothing 2,0\text{cm}$, a usvojeni su vodeći računa o mogućnosti čišćenja i održavanja, dužini propusta, te propusnom moći za vode povratnog perioda 1/100 godina. Nagib propusta određen je u skladu sa mogućnostima na terenu i proračunatim količinama vode.



Slika 6. Postojeći obodni jarci uz magistralnu cestu M6

Za dimenzioniranje propusta na trasi saobraćajnice definisani su prvenstveno hidrološki parametri kao što su mjerodavne padavine, uslovi oticaja i maksimalni dotok određenog ranga pojave.

Mjerodavne oborine odabrane su prema preporukama datim u „Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima; Knjiga I; Dio 1; Poglavlje 7, Smjernica 3“, strana 165. Shodno navedenom, usvojene su padavine 100 – godišnjeg povratnog perioda za propuste ispod trase brze ceste.

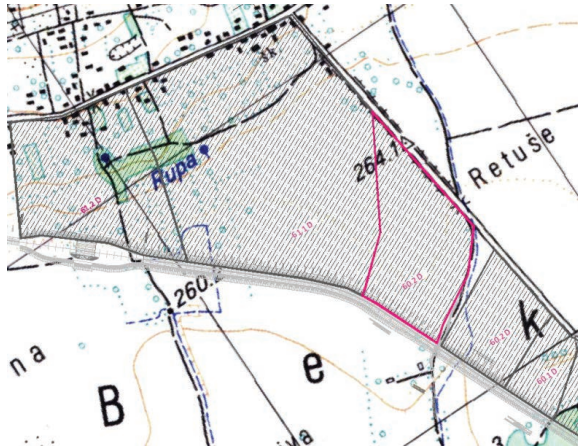
Prilikom dimenzioniranja propusta vodilo se računa da propusti prate postojeći pad terena, sa što manjim ukopavanjem.

S obzirom da su slivne površine redukovane do magistralne ceste M6, ka saobraćajnici gravitiraju vode pale samo na Grudsko polje, odnosno na površinu između novoprojektovane brze ceste i magistralne ceste M6. Zbog preporučenog koeficijenta oticanja za tip tla koji dominira ovim područjem ($c = 0,30$), proračunate količine vode koje gravitiraju ka saobraćajnici su uvećane u odnosu na kraško područje i potrebni su kanali neracionalno velikih dimenzija za prihvrat proračunatih količina i njihovu odvodnju. Također, područje kojim prolazi saobraćajnica je izrazito ravno, sa veoma blagim uzdužnim i poprečnim padom.

Zbog hidrogeoloških karakteristika terena, i uobičajene pojave pri obilnijim padavinama, kada većina Grudskog polja poplavi, dimenzije novoprojektovanih kanala vanjske odvodnje nisu usvojene u skladu sa proračunatim količinama vode koje gravitiraju ka trasi brze ceste. Usvojeni kanal vanjske odvodnje na početnim stacionažama je betonski trapezni, dimenzija $b/h=50/50\text{ cm}$, sa minimalnim uzdužnim padom $i=0,30\%$, čiji je kapacitet 500 l/s uz dubinu vode 40 cm. S obzirom na pretežno ravan teren kojim su položeni kanali vanjske odvodnje, njihova dubina nizvodno raste, a samim tim i njihov maksimalni proticajni kapacitet. Dimenzije novoprojektovanih kanala su izabrane i na osnovu kapaciteta postojećih odvodno-natapnih kanala, koji su korišteni kao recipijent prikupljenih zaobalnih voda, i koji su u vrijeme obilnih padavina poplavljeni. Novoprojektovani kanali ne bi trebalo da budu većih dimenzija od postojećih kanala koji služe za odvodnjavanje Imotsko-Bekijskog polja, a ujedno su i recipijenti kanala vanjske odvodnje.

Funkcija novoprojektovanih kanala i propusta je da se obezbjedi siguran prolaz vode sa uzvodne strane, koja se zadržava na ovim površinama, na nizvodnu stranu saobraćajnice, i dalje prema recipijentu.

U nastavku je dat proračun količine vode koja dopijeva u kanale vanjske odvodnje, te pomoću propusta koji prolaze kroz trup saobraćajnice se ispuštaju u postojeću mrežu odvodno-natapnih kanala.



Slika 7. Prikaz slivne površine za Kanal 60.2D

Racionalna metoda:

$$Q_{\max} = c * i * F_{sl} \quad (1)$$

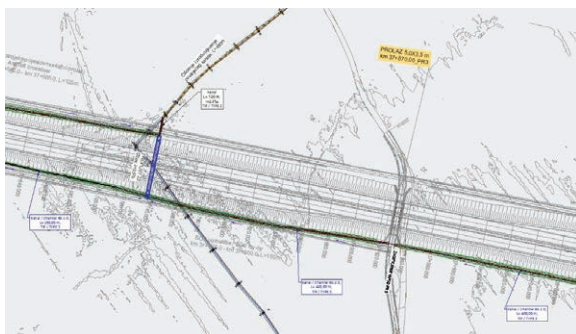
gdje je: Q_{\max} - maksimalno otjecanje (m^3/s)

c - bezdimenzionalni koeficijent otjecanja

i - intenzitet kiše ($l/s,ha$)

F_{sl} - površina sliva (ha)

$$Q_{\max} = 0,3 \times 286,7 \times 14,01 = 1,20 m^3/s$$



Slika 8. Prikaz kanala vanjske odvodnje sa ispustom u propust

Kao što se može vidjeti količina vode proračunata racionalnom metodom je znatno veća od količine vode koju može da prihvati betonski trapezni jarak dimenzija 50/50cm pri padu

od 0,3%. Radi racionalizacije kanala vanjske odvodnje kao i činjenice da voda prema kanalima dolazi jako sporo radi malog pada kao i radi sporog otjecanja vode iz kanala usvojeni su trapezni betonski kanali dimenzija 50x50cm.

4. Zaključak

Preduvjet za efikasno rješavanje odvodnje vode između magistralne ceste i novoprojektovane brze ceste Mostar-Široki podrazumjevalo bi detaljno snimanje postojeće mreže odvodno-natapnih kanala koji služe kao jedini recipijent za ispuštanje prikupljene vode iz kanala vanjske odvodnje. Ujedno je potrebno postojeću mrežu odvodno-natapnih kanala produbiti i očistiti kako bi se povećala propusna moć. Također, za ostvarivanje što bolje odvodnje viška vode trebalo bi pročistiti ponore kako bi se što bolje iskoristili njihovi kapaciteti.

Problem plavljenja bi se mogao efikasno riješiti uz slijedeće smjernice:

- ▶ prećenje odnosno tačno određivanje količine vode koje se pojavljuju u polju,
- ▶ određivanje površine polja koji plavi te
- ▶ izgradnjom novih mreža odvodno-natapnih kanala.

LITERATURA

- [1] Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru i Građevinski istraživački centar, 2018. Glavni projekt sanacije i rekonstrukcije odvodno-natapnih kanala u Imotsko-bekijskom polju, Mostar.
- [2] Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, 2015. Idejni projekt navodnjavanja Imotsko-bekijskog polja, Mostar
- [3] Institut IGH d.d. Zagreb, IGH d.o.o. Mostar, INTEGRA d.o.o. Mostar, GEOCON d.o.o. Čitluk, 2021. Idejni i glavni projekt brze ceste Mostar - Široki Brijeg - granica RH, Mostar

Zaštita izvorišta pitke vode u obuhvatu trase autoceste, zaštita izvorišta u općini Usora

/

Protection of drinking water sources within the highway route, protection of sources in Usora municipality

Benjamin Bibić, MCE dipl. ing. građ.

IPSA Institut d.o.o., Put života bb
benjamin.bibic@ipsa-institut.com

Tatjana Borovina, MCE dipl. ing. građ.

IPSA Institut d.o.o., Put života bb
tatjana.borovina@ipsa-institut.com

Adnan Habibović, MCE dipl. ing. građ.

IPSA Institut d.o.o., Put života bb
adnan.habibovic@ipsa-institut.com

Izgradnja autoceste u sklopu koridora Vc predstavlja jedan od najznačajnijih projekata u Bosni i Hercegovini. Odabirom trase autoceste neminovni su uticaji na postojeće sisteme vodosnabdijevanja naseljenih mjesta kroz koje autocesta prolazi. U ovom radu će biti prikazan uticaj autoceste na dionici tunel Putnikovo Brdo – Medakovo, konkretno dio trase koji prolazi kroz općinu Usora, i njen uticaj na lokalna izvorišta vode za piće. Obzirom da je na predmetnoj dionici predviđena regulacija rijeke Usore, iz koje se lokalna izvorišta prihranjuju vodom, prikazat će se i mjere koje su poduzete da se ne naruše postojeći tokovi podzemnih voda, te da se osigura kontinuirano prihranjivanje postojećih izvorišta. Također, biti će prikazne sve mjere koje je neophodno poduzeti kako bi se izvorišta zaštitila kako u toku izgradnje, tako i u toku eksploatacije autoceste, te se na taj način stekli uslovi za održivo i dugoročno vodosnabdijevanje.

Ključne riječi

Izvorište, zagađenje, vodozaštita

The construction of the motorway within the Vc corridor is one of the most significant projects in Bosnia and Herzegovina. The choice of the motorway route inevitably has an impact on the existing water supply systems of the populated areas through which the motorway passes. This paper will describe the impact of the highway on the section of the Putnikovo Brdo tunnel – Medakovo, specifically the part of the route that passes through the municipality of Usora, and its impact on local sources of drinking water. Since the regulation of the Usora River, from which local springs are supplied with water, is predicted on the highway section in question, the measures taken to prevent disruption of existing groundwater flows and to ensure continuous recharge of existing springs will be presented. Also, all the measures that need to be taken to protect the springs during construction and use of the highway will be presented, thus creating the conditions for sustainable and long-term water supply.

Key words

Water source, pollution, water protection

U posljednje vrijeme u Bosni i Hercegovini je pojačana aktivnost na pripremi realizacije izgradnje saobraćajnica višeg ranga, odnosno autocesta, da bi se zadovoljile potrebe stanovništva i privrede, te utjecalo na cjelokupni razvoj države.

Izgradnja koridora Vc, kao jedan od odvojaka koridora V, za Bosnu i Hercegovinu ima višestruko značenje. Prvenstveno zbog toga što je to prvi međunarodni pravac koji prolazi kroz njeno područje, te otvara pristup Jadranskom moru sa južne, te prostoru Srednje i sjeverno-istočne Europe sa sjeverne strane. Ovaj koridor je jedan od pokretača privrednog razvoja, ali također i jedan od čimbenika integracijskih procesa političkog prostora države.

Jedna od složenijih dionica koridora Vc, sa aspekta zaštite voda, jeste dionica od izlaza iz tunela Putnikovo Brdo (međuentitetska granica) – do naselja Medakovo.

Trasa predmetne dionice prolazi kroz općine Usora, Doboj Jug i Tešanj, te je položena u neposrednoj blizini izvorišta pitke vode za sve tri pomenute općine.

Pored izgradnje autoceste, u sklopu predmetne dionice predviđena je regulacija rijeke Usore koja prihranjuje izvorišta za vodosnabdijevanje sve tri općine kroz koje prolazi. Na njenim obalama pozicionirani su bunari za vodosnabdijevanje više izvorišta. Radi se o izvorištima Marijino vrelo, Makljenovac, Ularice i Alibegovci na lijevoj obali, te o izvorištu Kraševo na desnoj obali.



Slika 1. Položaj trase autoceste, dionica tunel Putnikovo Brdo – Medakovo

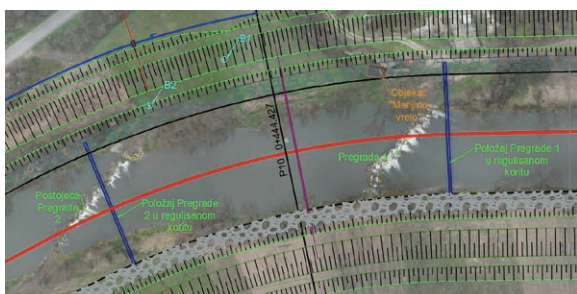
1. Odnos izvorišta vode za piće u općini Usora i trase autoceste

Na teritoriji općine Usora, a u neposrednoj blizini trase autoceste, registrovana su četiri izvorišta iz kojih se lokalno stanovništvo snabdijeva vodom. Radi se o izvorištima Marijino vrelo, Makljenovac, Ularice i Alibegovci.

Sva navedena izvorišta su bunarskog tipa, smještena uz lijevu obalu rijeke Usore iz koje se ujedno i prihranjuju.

Izvorište Marijino vrelo

Izvorište Marijino vrelo se sastoji od dva bunara, dvije pregrade u koritu rijeke Usore, te objekta „Marijino vrelo“, koji predstavlja objekat nekadašnjeg prirodnog vrela. Svi navedeni objekti su dio sistema za vodosnabdijevanje dijela MZ Makljenovac, općina Usora.



Slika 2. Pregled pozicija objekata za vodosnabdijevanje dijela MZ Makljenovac

Ovo izvorište nije direktno ugroženo izgradnjom autoceste, međutim regulacija rijeke

Usore uslovljava izmještanje objekata, te prespajanje svih cjevovoda do nove lokacije objekta.

Izvorišta Makljenovac i Ularice

Na području izvorišta Makljenovac i Ularice predviđena je izgradnja petlje Usora, i to u prvoj i drugoj zoni sanitarne zaštite izvorišta, dok je glavna trasa autoceste položena u drugoj i trećoj zaštitnoj zoni. Obzirom na blizinu autoceste, zaštita ovih izvorišta kako u toku izgradnje, tako i u toku eksploatacije autoceste je znatno otežana.



Slika 3. Položaj trase autoceste u odnosu na zaštitne zone izvorišta Makljenovac i Ularice

Izvorište Alibegovci

Na području općine Usora se nalazi i izvorište Alibegovci. Zbog svog položaja ono nije u opasnosti od fizičkog oštećenja tokom izvođenja radova, kako na autocesti, tako i na regulaciji korita rijeke Usore.

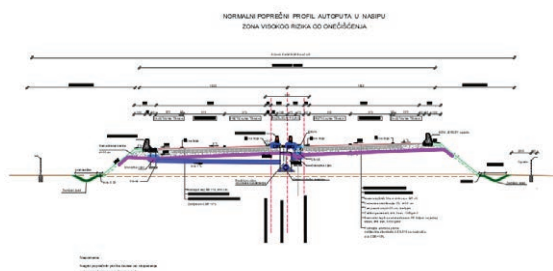


Slika 4. Položaj trase autoceste u odnosu na zaštitne zone izvorišta Alibegovci

do onečišćenja otvorenih tokova, a indirektno i podzemnih horizonata, mineralnim uljima, odnosno drugim lakim tečnostima. Prvenstveno je bitno poduzeti rješenja koja se odnose na sprječavanje kontakta procjednih i incidentnih zauljenih voda sa saobraćajnice i okolnog tla.

Kako bi se spriječilo slijetanje vozila sa kolovoza i eventualno izlivanje toksičnih materija u vodozaštitnoj zoni, kao i sprječavanje eventualnog nekontrolisanog oticanja vode sa kolovoza, potrebno je predvidjeti zaštitne betonske ograde new jersey tipa. Ograde bi bile postavljene sa obje strane kolovoza, kao i uz razdjelni pojas.

Pored toga, kao dodatnu zaštitu od izlivanja onečišćenih tekućina, potrebno je predvidjeti nagib bankine okrenut ka saobraćajnici što je prikazano na slici ispod.



Slika 6. Poprečni profil autoceste u zoni izvorišta

Također, kako bi se spriječilo eventualno procjeđivanje onečišćenih voda sa kolovoza, ispod tamponskog sloja, duž cijele širine poprečnog presjeka autoceste, u zonama izvorišta, potrebno je predvidjeti bentonitni tepih sa ugrađenom PE folijom i zaštitnim geotekstilom.

Bentonitni tepih je geosintetički glineni tepih punjen i impregniran sa natrij-bentonitnim prahom kao hidrauličkom izolacijom, i sa dodatno ekstrudiranom PE folijom na jednoj strani. Kao zaštita bentonitnog tepiha koristi se netkani geotekstil od 1200 gr/m² debljine

cca 8mm. Potrebno je napomenuti da je bentonitni tepih kao materijal potpuno inertan i kao takav nema nepovoljnog uticaja na površinske i podzemne vode.

Za odvodnju voda sa operativnih, asfaltnih površina trase, neophodan je zatvoreni sistem unutrašnje odvodnje. Ovaj sistem je koncipiran tako da se sve vode pale na asfaltne površine, u zavisnosti od poprečnog pada asfalta, skupljaju slivnicima lociranim u rigolu, transportuju zatvorenim cijevnim sistemima, te pročišćavaju prije ispuštanja u recipijent.

Odabrani materijali moraju garantovati vodonepropusnost sistema, te je obavezno ispitivanje i dokazivanje vodonepropusnosti nakon izvršene montaže svih elemenata sistema.

Pročišćavanje onečišćenih voda

Pored vodonepropusnog sistema unutrašnje odvodnje, obavezno je prečišćavanje voda prikupljenih sa asfaltnih površina. Obzirom da se radi o području na kojem bi kontaminacija vodonosnih slojeva mineralnim uljima imala nesagledive posljedice po izvorišta pitke vode, potrebno je predvidjeti adekvatan sistem prečišćavanja. U ovom konkretnom slučaju, predlaže se sistem kojim će se sva prikupljena voda sa asfaltnih površina prečišćavati preko separatora ulja i lakih tečnosti, sa prečišćavanjem od 100%. Dakle, sve onečišćene vode nastale sapiranjem asfaltnih površina oborinama će se prečistiti prije ispuštanja.

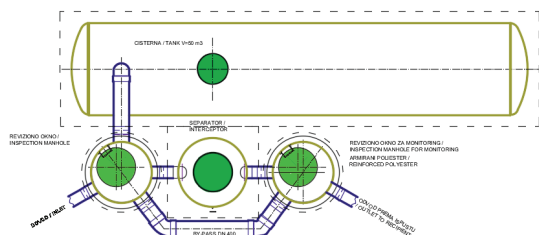
S obzirom da separatori nemaju kapaciteta niti su predviđeni da prihvataju incidente tekućine nastale usljed izlivanja lakih tečnosti iz teretnih vozila, potrebno je predvidjeti dodatne cisterne u koje bi se prihvatila sva eventualno prolivena tečnost.

U slučaju incidenta, odnosno prolivanja

goriva iz auto-cisterne, separatori će prepoznati da dolazi koncentrovana tečnost, te automatski zatvoriti plovak ventil. To će proizrokovati da sva tečnost skrene u posebno projektovanu cisternu zapremine 50 m³. Kapacitet ove cisterne je dovoljan da prikupi i transportovanu tečnost, a i tečnost iz rezervoara samog vozila.

Potrebno je napomenuti da, prema važećim pravilnicima, gornja granica koncentracije ulja i sl., po litru vode ispuštene iz sistema oborinske kanalizacije iznosi 5mg/l.

Za kontrolu rada svih uređaja, za tretman voda u zonama izvorišta, potrebno je predvidjeti monitoring okna nakon separatora, u kojima bi se redovno uzimali uzorci i vršila kontrola kvaliteta i ispuštenih voda.



Slika 7. Shematski prikaz Sistema prečišćavanja voda sa asfaltnih površina

3. Zaključak

Neupitna je važnost izgradnje autoceste za čitavu Bosnu i Hercegovinu. Međutim, obaveza i dužnost svih sudionika u građenju je i očuvanje postojećih izvora vode za piće kako u toku izgradnje, tako i u toku eksploatacije autoceste.

LITERATURA

- [1] Glavni projekat sistema vodozaštite i Glavni projekat regulacije i uređenja vodotoka rijeke Usore, izrađeni u sklopu Glavnog projekta „Analiza i prilagoba postojećih projekata autoceste na koridoru Vc, i izrada inoviranog glavnog projekta: dionica Putnikovo brdo – Karuše, i Karuše – Medakovo, L = 8,5 km“ Juni 2020. godine; IPSA Institut.
- [2] Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima, Sarajevo/Banja Luka, 2005.

Iskustva u korištenju regionalnih analiza za ocenu kvantila velikih voda na teritoriji BiH

/

Experience in using regional analyzes to assess large water quintiles in B&H

Borislava Blagojević, Ph.D., M. Sc., B.Sc. in Civ. Eng.

University of Niš
Faculty of Civil Engineering and Architecture
Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Serbia
borislava.blagojevic@gaf.ni.ac.rs

Ajla Mulaomerović-Šeta, Ph.D., B.Sc. in Civ. Eng.

University of Sarajevo
Faculty of Civil Engineering
Patriotske lige 30, 71000 Sarajevo, B&H
ajla.mulaomerovic@gf.unsa.ba

Žana Topalović, Ph.D., B.Sc. in Civ. Eng.

University of Banja Luka, Faculty of Architecture,
Civil Engineering and Geodesy
Bulevar vojvode Stepe Stepanovića 77, 78000 Banja Luka, B&H
zana.topalovic@aggf.unibl.org

Bojana Nedić, B.Sc. in Civ. Eng.

Hydraulic Engineering Institute Sarajevo
Stjepana Tomića 1, 71000 Sarajevo, B&H
bojana.nedic@heis.ba

Mirza Mujčić, B.Sc. in Civ. Eng.

Hydraulic Engineering Institute Sarajevo
Stjepana Tomića 1, 71000 Sarajevo, B&H
mirza.mujcic@heis.ba

Kvantili velikih voda predstavljaju računске vrednosti od kojih se biraju merodavne veličine za mnoge namene u vodoprivredi i hidrotehnici. Ocena ovih kvantila je izazov i za izučene i za neizučene slivove. U radu će se prikazati iskustva u korišćenju različitih pristupa oceni kvantila za neizučene slivove metodama regionalne analize. Slivovi na kojima će se ilustrovati rezultati pripadaju slivu reke Save i deo su nedavno sprovedenih istraživanja i projekata za reku Unu, Vrbas, Bosnu i neposredne pritoke reke Save: Ukrinu, Tinju i Brku. Osim što je ovim pristupima zajedničko korišćenje regresione analize, najčešće između specifičnog oticaja i površine sliva, svaki pristup ima svoju specifičnost u pogledu izbora grupe stanica za preslikavanje karakteristika velikih voda.

Ključne riječi

Kvantil poplava, MIKE 11 – parametri NAM modela, regionalna analiza, nemjerljivi bazen, odabir donatorske stanice

Flood-related characteristics, most often flood quantile estimates, represent a set of assessed values from which a design flood is selected for many purposes in water management and hydraulic engineering. Estimating these characteristics/quantiles is a challenge for both gauged and ungauged basins. The paper presents experiences in using different approaches to flood related characteristics estimation for ungauged basins in Bosnia and Herzegovina by regional analysis methods. The basins where the results are illustrated belong to the Sava River Basin in Bosnia and Herzegovina, and are part of the recently conducted research and projects for the whole territory, and a specific large river basins of the Sava River, the Bosna River, the immediate right tributaries of the Sava River: the Ukrina, the Tinja and the Brka River. Each presented regionalization approach has its own specifics that varies from the common approach where specific/normalized runoff from gauged sites is transferred to ungauged sites within the same river basin by the regression model using catchment area as the only catchment attribute.

Key words

Flood quantile, MIKE 11 – NAM model parameters, regional analysis, ungauged basin, donor station selection

The problem of floods is a common problem of developed and underdeveloped countries of the world. In the period from 1998 to 2017, floods took the first place among natural disasters according to the frequency (43.4 %) and damage caused (45 % - \$2 billion) [1]. Like many countries around the world, Bosnia and Herzegovina has improved its flood risk management in order to prevent or at least mitigate the damage.

In that sense, some of the measures included the adoption of the legal acts i.e. bylaws which provided the basis for development of the flood hazard and flood risk maps in accordance with EU Floods Directive (e.g. [2], [3]), building/maintaining flood protection structures (e.g. [39]) and installing/improving flood forecasting and early warning systems (e.g. [40]).

The base for flood estimation required for most of the flood risk management measures is gauged flow data, burdened by uncertainty due to short or interrupted gauging period, flow rating curve extrapolation, and lack of instantaneous flow records [4]. For both gauged and ungauged basins, statistical analysis is required for a flood quantile estimation. It can be performed on the annual maxima series (AMS) or the partial duration series (PDS). Issues that are most often present in statistical modelling of floods include presence of low outliers in data sets and their impact on the right end of the distribution [5], and mixed population.

The flood quantiles are most often estimated from the AMS in Bosnia and Herzegovina [17]. Maximum annual flows are generally more variable compared to average monthly or annual flows and therefore require long gauging period for the estimation of reliable statistics [6], which is why minimum series lengths are set. In Germany, an AMS length of at least $T / 2$ is required to estimate the quantile of the T -year return period [7], while in the former Yugoslavia it was mostly $T / 5$ to $T / 3$ [8].

To provide reliable estimates of floods in the conditions of short and unreliable datasets, hydrologists use alternative sources of information. The goal is to more reliably determine the statistical parameters, flood quantiles, and/or other flood-related characteristics. For this purpose, several information expansion techniques are commonly used: temporal [9], causal, and spatial [10, 11]. The presentation of the recent spatial information transfer application in Bosnia and Herzegovina is the focus of this paper.

The problem of floods is a common problem of developed and underdeveloped countries of the world. In the period from 1998 to 2017, floods took the first place among natural disasters according to the frequency (43.4 %) and damage caused (45 % - \$2 billion) [1]. Like many countries around the world, Bosnia and Herzegovina has improved its flood risk management in order to prevent or at least mitigate the damage. In that sense, some of the measures included the adoption of the legal acts i.e. bylaws which provided the basis for development of the flood hazard and flood risk maps in accordance with EU Floods Directive (e.g. [2], [3]), building/maintaining flood protection structures (e.g. [39]) and installing/improving flood forecasting and early warning systems (e.g. [40]).

The base for flood estimation required for most of the flood risk management measures is gauged flow data, burdened by uncertainty due to short or interrupted gauging period, flow rating curve extrapolation, and lack of instantaneous flow records [4]. For both gauged and ungauged basins, statistical analysis is required for a flood quantile estimation. It can be performed on the annual maxima series (AMS) or the partial duration series (PDS). Issues that are most often present in statistical modelling of floods include presence of low outliers in data sets and their impact on the right end of the distribution [5], and mixed population.

The flood quantiles are most often estimated from the AMS in Bosnia and Herzegovina [17]. Maximum annual flows are generally more variable compared to average monthly or annual flows and therefore require long gauging period for the estimation of reliable statistics [6], which is why minimum series lengths are set. In Germany, an AMS length of at least $T / 2$ is required to estimate the quantile of the T -year return period [7], while in the former Yugoslavia it was mostly $T / 5$ to $T / 3$ [8].

To provide reliable estimates of floods in the conditions of short and unreliable datasets, hydrologists use alternative sources of information. The goal is to more reliably determine the statistical parameters, flood quantiles, and/or other flood-related characteristics. For this purpose, several information expansion techniques are commonly used: temporal [9], causal, and spatial [10, 11]. The presentation of the recent spatial information transfer application in Bosnia and Herzegovina is the focus of this paper.

1. Regional analysis methodology issues

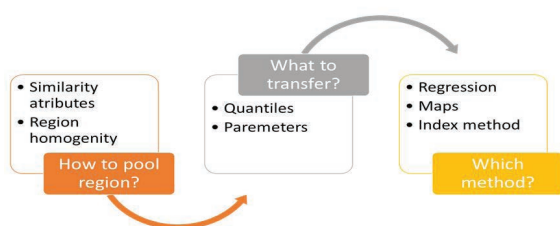
Spatial information transfer includes spatial regionalization methods in estimating flood parameters or flood quantiles. It is most often used when the gauging database is modest or the data is completely missing (ungauged site). Spatial transfer can be achieved through envelope curves, specific (normalized) flow diagrams, maps of statistical parameters (mostly higher order moments), or statistical regionalization procedures. Statistical regionalization involves determining the relationship between the flood parameters/quantiles and morphological and/or meteorological parameters of the basin. This approach raises several questions (Figure 1):

- Which similarity parameter(s) and which method(s) to use for defining the region?
- How to examine the homogeneity of the region?
- What information to transfer from the region to the desired station and in what way?

The diversity of approaches to each of the issues has resulted in a large number of regionalization methods. Various methods for pooling groups have been proposed in

the literature [10], but in practice there is no generally accepted procedure [11].

In the beginnings of statistical regionalization, regions were pooled in a subjective way. Areas within administrative, catchment and other borders, covering continuous geographical regions, were often considered homogeneous [12], under the assumption that changes in climate, morphology, geology, etc. are gradual in space.



Slika 1. A common issues in regional analyses

The diversity of approaches to each of the issues has resulted in a large number of regionalization methods. Various methods for pooling groups have been proposed in the literature [10], but in practice there is no generally accepted procedure [11].

In the beginnings of statistical regionalization, regions were pooled in a subjective way. Areas within administrative, catchment and other borders, covering continuous geographical regions, were often considered homogeneous [12], under the assumption that changes in climate, morphology, geology, etc. are gradual in space.

2. Practice in Bosnia and Herzegovina

In Bosnia and Herzegovina, statistical regionalization is used almost exclusively for the assessment of flood quantiles in ungauged basins [17], whereby grouping of basins is done according to the proximity - location in the larger basin, pooling continuous regions.

The regression is often used as a transfer model within a region:

$$Q_{max,T} = a_T \cdot A^{b_T}$$

where:

$Q_{max,T}$ - the flood quantile (m^3/s) of the T-year return period,

a_T and b_T - the regression coefficients (for the return period T) obtained most often by the least square method.

A more often used regression form is:

$$q_{max,T} = a_T \cdot A^{b_T-1}$$

where

$q_{max,T}$ - the specific/normalized flood quantile $q_{max,T} = Q_{max,T}/A$ ($m^3/s/km^2$) of the T-year return period.

On the territory of Bosnia and Herzegovina, the most used regional model is (2) (e.g. [28]), although its predictive characteristics are weak. In the basins of Austria, it has been shown that model (1) for estimating 100-year flood quantiles can produce significant differences (up to the third order) [29], while possible reasons are measurement errors, dry and wet periods in series and unrepresentative time frame, non-stationarity due to land use change.

3. Regionalization examples from Bosnia and Herzegovina

The recent examples of regional analysis on the territory of Bosnia and Herzegovina shown in this section are selected to illustrate any analysis part or step different from the common approach.

3.1. Small catchments in the Sana River basin

Three flood-related characteristics are analysed in the Sana and the Una River Basin as a part of flood protection project in the area of the Prijedor city [39]. The project focus is two flood defence channels and ungauged basin of the Bubnjarica stream. The Flood defence channels are of peripheral and drainage type, one protecting area on the left bank of the Sana River, the other located on the defending side of the levee (draining the area captured by levee and the main roads). These areas are typical plains that collect and drain precipitation generated runoff without interaction with the streams or rivers i.e. pluvial flood is treated here. The corresponding catchment areas are 3.87 km² and 2.96km² for the channels, and 1.71km² for the Bubnjarica stream.

Three different sets of flood attributes are regionally analysed:

1. Flood quantiles estimated from the gauged data at hydrological stations available on the Una and the Sana River;
2. Cumulative distribution function(CDF) parameters obtained in the statistical analysis of flood flows of the Una and Sana Rivers;
3. Runoff coefficients from the rational method.

3.1.1. Flood quantiles vs. catchment area

The base regional analysis relies on the flood quantiles estimated from the AMS by the three-parameter Generalized Extreme Value (GEV) CDF. Gauged flows were available for 13 stations on the Una and Sana River, with gauging period in the range of 29-56 years. Regional regression model(2) is used. Results

of the regional analysis are given in Table 1. The coefficient of determination R² is between 0.91 for return period of 20, 50 and 100 years and 0.88 for return period of 500 years.

Return period (years)	Regression model (2) (m ³ /s/km ²)	Regression model (1) (m ³ /s)
20	$q_{20} = 3.739 \cdot A_{sf}^{-0.346}$	$Q_{20} = 3.739 \cdot A_{sf}^{0.654}$
50	$q_{50} = 4.484 \cdot A_{sf}^{-0.357}$	$Q_{50} = 4.484 \cdot A_{sf}^{0.643}$
100	$q_{100} = 5.061 \cdot A_{sf}^{-0.365}$	$Q_{100} = 5.061 \cdot A_{sf}^{0.635}$
500	$q_{500} = 6.45 \cdot A_{sf}^{-0.381}$	$Q_{500} = 6.45 \cdot A_{sf}^{0.619}$

Table 1. Regression models between specific runoff and runoff and catchment area obtained from statistical analysis of AMS using GEV CDF

3.1.2. CDF parameters vs. catchment area

The second regression model is established between catchment area and three GEV parameters, namely parameter of scale - σ , location - μ , and shape - κ . The last one is poorly correlated with catchment area while for first two coefficient of determination R² is higher than 0.9.

The same procedure is conducted to obtain regression models between catchment area and AMS statistical parameters namely mean value, standard deviation and skew. The last one, mainly used to determine GEV shape parameter κ , is poorly correlated to catchment area, while mean value and standard deviation are correlated with R² of 0.98 and 0.93, respectively. Obtained regression models are given in Table 2.

GEV param.	Regression model	AMS stat.	Regression model
σ	$\sigma = 0.654 \cdot A^{0.639}$	X_{sr}	$X_{sr} = 1.996 \cdot A^{0.686}$
μ	$\mu = 1.577 \cdot A^{0.701}$	S_x	$S_x = 0.9116 \cdot A^{0.613}$
κ	$\kappa = -2 \cdot 10^{-5} \cdot A - 0.052$	C_s	$C_s = -9 \cdot 10^{-5} \cdot A + 0.887$

Table 2. Regression models between catchment area, GEV parameters and AMS statistics obtained from flood frequency analysis

3.1.3. Runoff coefficient regression models

The third regression analysis is conducted on the runoff coefficients.

Using flood quantiles obtained by the statistical analysis and known precipitation intensity-duration-frequency (IDF) curves at the nearby Prijedor meteorological station, runoff coefficients are calculated using well known rational method:

$$Q_{max,T} = \eta \cdot i_T \cdot A$$

where:

$Q_{max,T}$ - the peak flow (m³/s) of the T-year return period,

η - runoff coefficient,

i_T - storm intensity (for the return period T),

A - catchment area.

Regression models are established between calculated runoff coefficients and three catchment characteristic: catchment area, longest flow path and average slope. The highest R² was found to be 0.18, i.e. no significant correlations were found. Therefore this analysis is rejected for flood quantile estimation.

3.1.4. Results

An additional flood quantile assessment is performed for the studied catchments by the rainfall-runoff modelling (the synthetic unit hydrograph method combined with the SCS-CN for assessing effective precipitation) [39]. The results of this analysis (denoted SCS) and those obtained from the regression models given in Table 1 and Table 2 are shown in Table 3.

Flood quantile assessment method	T=20 y.	T=50 y.	T=100 y.	T=500 y.
Catchment 1				
SCS	3.92	6.70	9.31	16.80
Regression models catchment area-flood quantiles	6.15	6.98	7.60	9.05
Regression models catchment area – GEV parameters	6.06	6.77	7.28	8.40
Catchment 2				
SCS	1.46	2.23	2.92	4.81
Regression models catchment area-flood frequency	5.08	5.77	6.30	7.51
Regression models catchment area – GEV parameters	5.00	5.59	6.01	6.93
Catchment 3				
SCS	1.74	2.97	4.12	7.43
Regression model catchment area-flood frequency	3.44	3.92	4.28	5.13
Regression models catchment area – GEV parameters	3.4	3.8	4.1	4.7

Table 3. Flood quantiles (m³/s) estimated from different analysis for the three studied small catchments

3.2. The direct right tributaries of the Sava River

The MIKE 11 – NAM model [38] for the basins of the Ukrina River, the Tinja River, the Brka River and the Bosna River is calibrated according to the regionally assessed model parameters. The model is set up for hydrological-hydraulic modelling within the frame of the Flood Forecasting and Early Warning System (FFEWS) [40].

The real-time FFEWS comprises the four river basins, out of which three are ungauged: the Ukrina (1500 km²), the Tinja (950 km²), and the Brka (233.2 km²). The fourth is the gauged Bosna River Basin, all being the direct right tributaries of the Sava River (Figure 2). The optimized MIKE 11 – NAM model parameters at all subcatchments of the Bosna River Basin are used to establish the regression models

between calibrated parameters and some physical and morphological basin characteristics. The combined hydrological-hydraulic modelling in the Ukrina, the Tinja and the Brka (UTB) river basins is done according to the subdivision of the basins in 14, 5 and 8 subcatchments respectively (Figure 3, Figure 4, Figure 5).

The proxy data (observed water levels) collected on sites during the flood in the year 2010 are used to verify the results of combined simulation of hydrologic and hydraulic models, where the MIKE 11 – NAM model parameters for the UTB Basins are estimated from the established regional regression models in the Bosna River Basin.

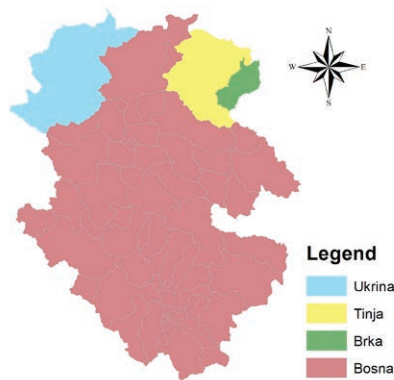


Figure 2. The FFEWS project area

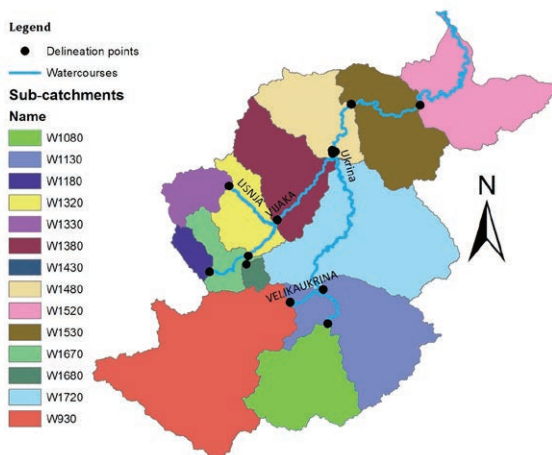


Figure 3. The subcatchment delineation scheme in the Ukrina River Basin

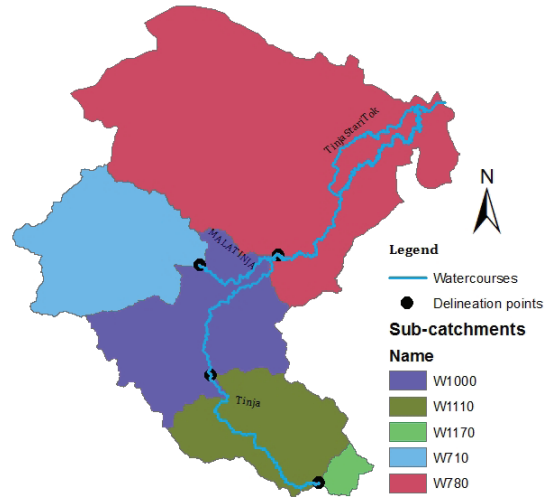


Figure 4. The subcatchment delineation scheme in the Tinja River Basin

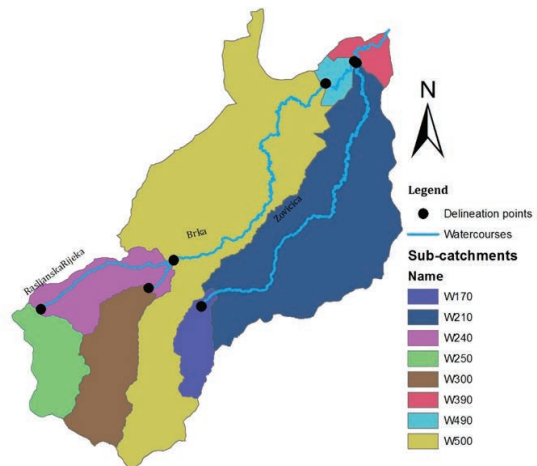


Figure 5. The subcatchment delineation scheme in the Brika River Basin

3.2.1. Regional analyses of the MIKE 11 – NAM model parameters and catchment attributes

A common starting approach regarding hydrological region pooling group composition is applied here: The catchment similarity base is spatial proximity that emerges from the assumption that rainfall-runoff relationship varies smoothly in place or is uniform in the specific (predefined) region. According to Merz and Blöschl [10], spatial proximity yields much better prediction results in ungauged basins than with any other catchment characteristic, while best results are obtained

by combining spatial proximity approach and catchment attributes. Therefore, several catchment attributes are chosen for regionalization of the optimized MIKE 11 – NAM model parameters in the Bosna River basin sub-catchments: (a) catchment area, (b) average catchment slope, (c) drainage network length, (d) density of drainage network (drainage network length divided by basin area), (e) forest coverage, (f) mean index of drainage density (GIS tool line density, density of linear feature in the neighbourhood of each output raster cell [41]), (g) catchment shape length, (h) catchment shape (the difference between min and max basin elevation divided by the catchment area) and (i) percent of basin area under hypsometric curve between two elevations (for example 450-500 m.a.s.l.).

The regressions are based on these catchment attribute sets and optimized parameter sets for the Bosna River subcatchments. Prior to that, pool of sub-catchments is grouped by their similarity according to each attribute. After hydrological model parameter determination, a preliminary flow simulation results are checked upon normalized regional flow duration curves (presented as ratio to mean flow) in the Bosna River Basin.

The final flow modelling results are verified using available proxy at-site data: 1) additional spatial data available at predefined areas under potential significant flood risk (APSF), and 2) maximum inundation zones along the UTB rivers based on the 2010 flood. The latter is used for model recalibration.

Regarding catchment area, no significant correlations with the set of MIKE 11 – NAM model parameters were found. For the average catchment slope, a significant correlation is found only with CK1,2 parameter (timing constant for overland flow) including only 10 relatively low-land catchments with slopes between 6-15%. From this pool of cat-

chments, the ones with very small areas are removed. With such a catchment area range, significantly better results are achieved. The correlation coefficient is 0.76, while regression model is two-degree polynomial, as shown in Figure 6. Somewhat weaker correlation is found between catchment drainage length and CQOF (overland flow coefficient) parameter, $R^2=0.66$. However, this parameter is highly correlated with the drainage density, as shown in Figure 7.

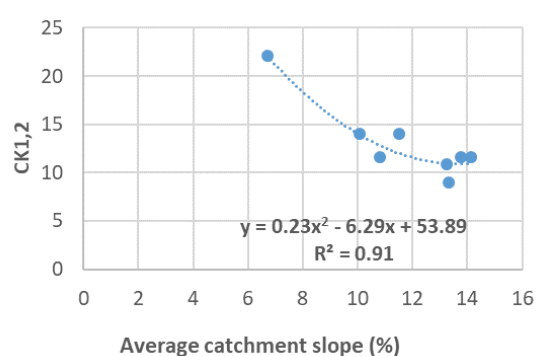


Figure 6. Regression models for average catchment slope and CK1,2 parameter

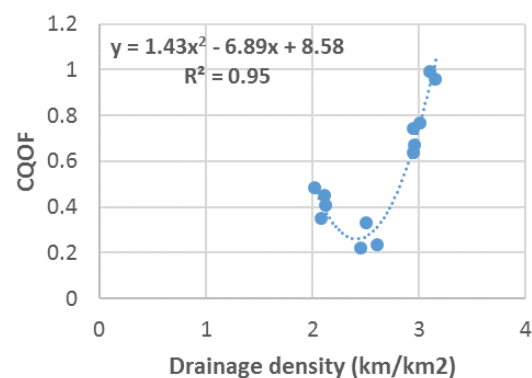


Figure 7. Regression model for drainage density and CQOF parameter

According to the percentage of forest coverage on catchments, 12 catchments were found similar to the ungauged catchments. Expectedly, parameters related to the surface storage and root zone are correlated with this characteristic. Correlations are shown in Figure 8 and Figure 9.

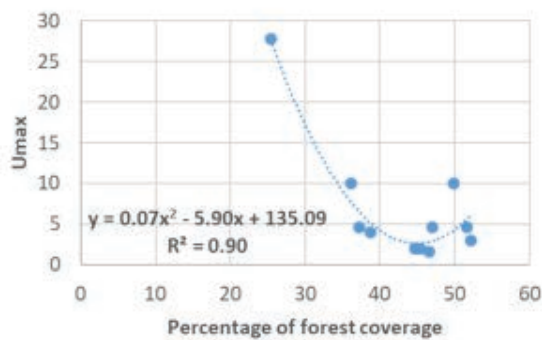


Figure 8. Regression model for forest coverage percentage

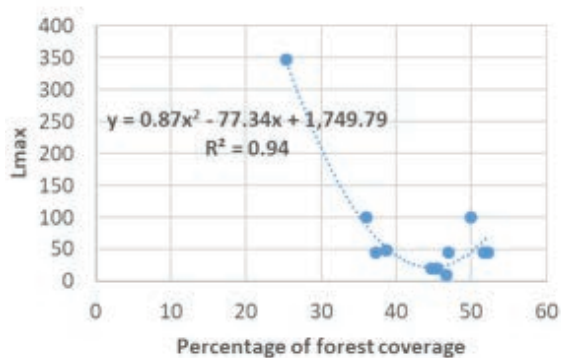


Figure 9. Regression model for root zone model parameter

The parameter of threshold for overland flow TOF is correlated with the drainage density index, as shown in Figure 10.

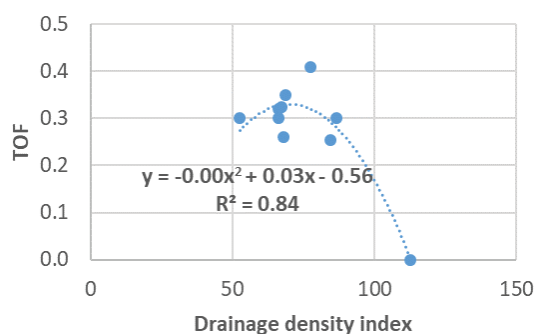


Figure 10. Regression model for drainage density index and TOF model parameter

3.2.2. Regional analyses significance in the UTB flow simulation

The complete regional analysis process was successful, because all sensitive MIKE 11 –

NAM model parameters are connected (with known strength) to some of the catchment characteristic. The insensitive parameters are not, which was both expected and acceptable, due to their negligible influence on the model efficiency.

Although regional regression models provide for assessment of the MIKE 11 – NAM model parameters by using a specific catchment characteristics, there are situations where regional models give irrational parameter values (e.g. CQOF larger than 1, or L_{max} larger than recommended 300). Then, values are kept at the maximum /minimum of the recommended parameter range.

The final verification of hydrological modelling through hydrodynamic models has shown some of the parameters in subcatchments needed refinement in order to increase runoffs to meet water levels achieved during the 2010 flood. The most influential model parameters on runoff increase are CQOF and CK1,2, as well as L_{max} to some extent. Therefore, these parameters are fine-tuned for all subcatchments in the UTB basins until simulated water levels came close to the extent in the APFSR. This means that regional analysis i.e. the established regression models have led to the underestimation of floods in larger basins of the Tinja and the Ukrina River, while in the Brka River Basin, runoffs required only slight increase.

3.3. The Bosna River basin

3.3.1. An index flood method application

One of the earliest atypical regional analysis in the Bosna River Basin is published by Husno [31]. Flood quantiles are estimated by the regional analysis of average ratios between flood quantiles and mean flood data (AMS),

versus flood recurrence intervals (return periods). The obtained regression models can then be used to calculate flood quantiles at ungauged sites within the same hydrologically-homogenous region.

The research results are based on the gauged data from the 19 hydrological stations in the Bosna River Basin with AMS ranging from 17 to 54 years, where the region homogeneity is checked by the test conducted on the 10-year flood characteristics. The CDF is Gumbel. Within the two-phased process, two regressions are established: 1) Mean flood vs. catchment area (Figure 11), and 2) Flood quantile to mean flood data (AMS) ratio vs. flood return period (Figure 12).

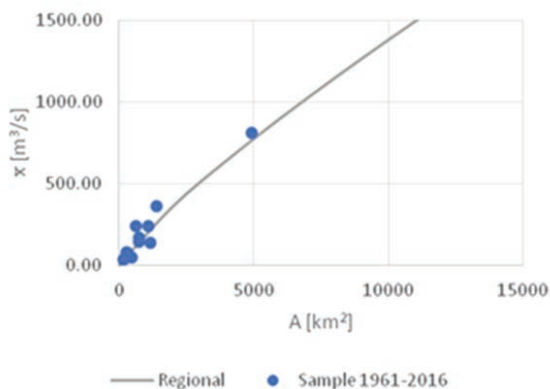


Figure 11. The original regression model (grey line) [31] with blue dots representing data based on the sample from the 1961-2016 period

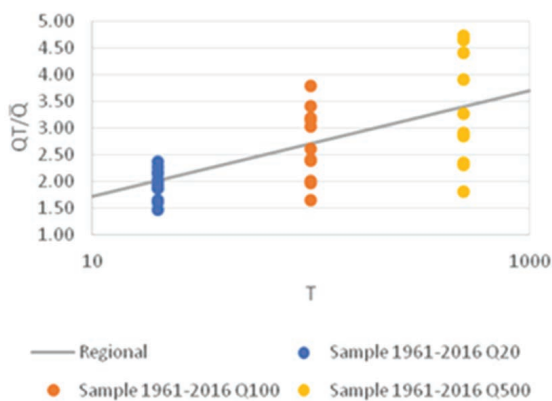


Figure 12. The original regional model (grey line) [31] with dots representing flood quantiles based on the sample from the 1961-2016 period

The index-floods shown in Figure 12 by blue, orange and yellow dots represent flood quantiles ($T= 20, 100$ and 500 years) estimated by regional analysis explained in the section 3.4 at eight hydrological stations matching those used in the original research [31]. The mean flood mapped on the Figure 11 is from the same stations/samples. The dispersion of the dots in both Figure 11 and Figure 12 point out the need for reassessing established regional relations.

3.3.2. A comprehensive regional study

The most recent comprehensive regional research of the Bosna river basin [17] starts from the assumption that continuous geographical area is usually not homogeneous in hydrological terms [15], and consequently rejects subjective regionalization (all catchments in the larger basin) due to its arbitrary character [16]. The study shows that the regions composed of catchments within the same basic basin are significantly heterogeneous [17]. The research phases are illustrated in Figure 13.

After pooling the region, as a prerequisite for regional analysis, homogeneity is examined. A large number of parametric and nonparametric tests have been proposed in the literature to examine whether the values of statistical parameters, quantiles or empirical functions are the same, or whether the differences between them are small enough to be attributed to sampling errors. Parametric tests examine the variability of the parameters (C_s, C_v , of a certain order of L-moment) or a dimensionless quantile within a region [18, 19, 20, 21, 22, 23, 24] and compare it with variability expected within homogeneous regions. The assessment of the parameters/quantiles variability of homogeneous region is most often examined using Monte Carlo simulation. On the other hand, nonparametric tests are

based on a comparison of local and regional empirical distribution functions, obtaining critical values of test statistics using bootstrap simulations.

Regionalization methods are performed under the assumption of homogeneous regions, but often in practice, this step is neglected. It is assumed that the catchments in the proximity, belonging to the same basic basin are a priori homogeneous.

Due to the findings that physically close areas do not imply similarity in hydrological terms, the cluster methods and region of influence (ROI) are most used in hydrology [25, 26, 27, 28]. Regionalization in the Sava River Basin, part of which belongs to Bosnia and Herzegovina and part to Serbia is shown in [29, 30], while ROI and a combined ROI and cluster approach are used here [17].

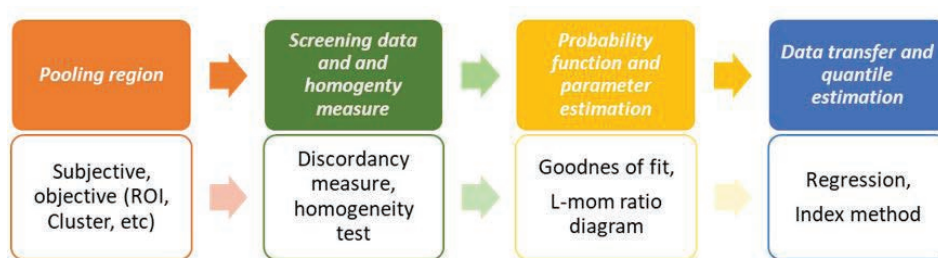


Figure 13. Regional analyses phases conducted in the comprehensive research [17]

To improve the flood quantile and/or CDF parameter estimates, additional variables/attributes have been introduced, most often precipitation of a certain duration. However, a recommendation about variable types and their correlation with dependent variables still cannot be made.

Based on the AMS analysis by multiple linear regression for the first three conventional and L-moments in 366 Austrian basins, it was concluded that the model with three variables in most cases shows a significant correlation with flood characteristics, but also results in a substantial estimation errors [30]. The result is explained by the fact that flood frequencies are variable within regions. The paper also shows that the average annual precipitation as a significant variable stands out only in 8 basins, showing a negative correlation with the mean flood, while the basin area is significant in 2 basins only. Such a result is in contrast to the most studies where the average annual precipitation, along with the catchment area, represent best performing

independent variables in regressions [31], [32]. [33].

In general, regression forms, regardless of their complexity, cannot adequately model quantiles of larger return periods or conventional or L-moments of higher order.

In an attempt to improve flood quantile estimation in Bosnia and Herzegovina by regional analyses [17], the Bosna River Basin data is expanded by the data from stations in Serbia from the Danube River Basin. The hydrological regions were pooled by the subjective and objective approach to catchment similarity, using a set of attributes:

- ▶ Subjective
 - all available stations comprise one region – label 1REG, and
 - all stations from the Bosna river basin comprise one region – label BASIN.
- ▶ Objective, based on:

- morphology (catchment area, mean altitude and average basin slope – label MORFO)
- annual maxima date (via Direction statistics- XY, relative frequency – RF, season-SEASON)
- combined morphology and annual maxima date (mean altitude and directional statistics- label H_XY)

A variety of flood quantile estimation by the statistical analyses is performed considering:

- ▶ data gauging period (standard normal WMO period 1961-1990, and all gauged data until the year 2016),
- ▶ CDF (GEV with parameters estimated by the L-moment method, and LPT3 with expected moment algorithm (EMA) – B17C [42], [43].

The regions were pooled applying two common methods: ROI and CLUSTER, and two newly proposed procedures by Mulaomević-Šeta [17] (labelled as CL_POD and R_C).

The index-flood method is used for flood quantile transfer. The 100-year flood quantiles are shown in Figure 14.

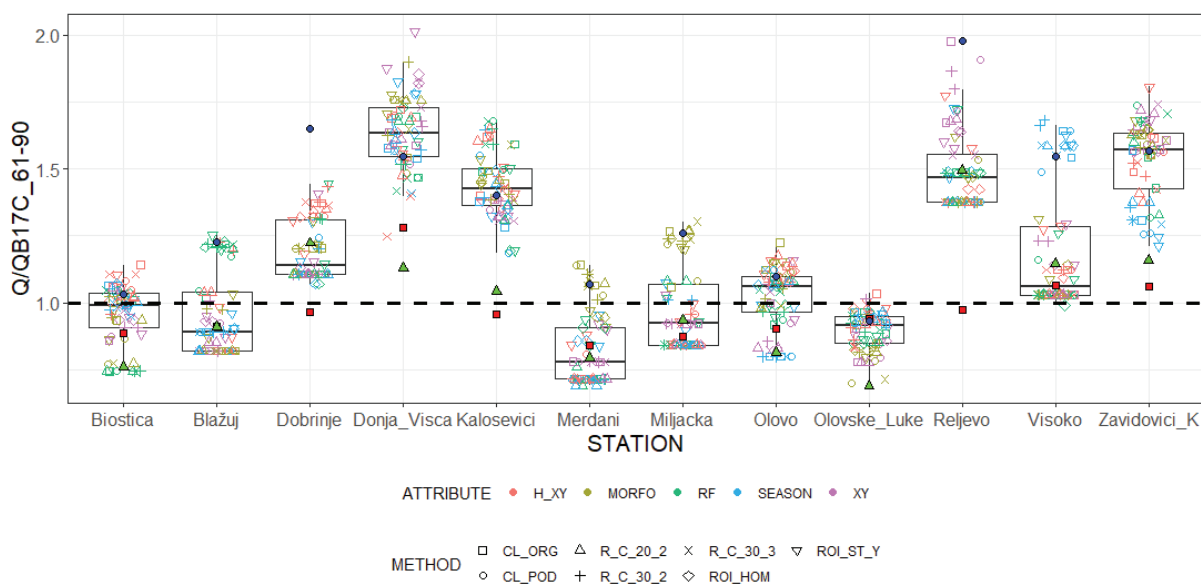


Figure 14. The 100-year flood quantile ratio of regionally estimated to statistically estimated quantiles by the B17C procedure (period 1961-1990) at stations in the Bosna River Basin

All markers without fill in Figure 14 show 100-year flood quantile ratio where objective approach to catchment similarity is applied (METHOD), while marker colour points out to the attribute used in region pooling (ATTRIBUTE). Three markers with fill show 100-year flood quantile ratio obtained by subjective approach: 1REG (blue dots) and BASIN (green triangles), as well as alternative 100-year flood quantile estimated by the statistical modelling – B17C (red squares) from the whole gauging period.

As point is closer to the dashed line $y = 1$, the closer is the value to the $Q_{B17C_{61-90}}$ quantile at station. Among subjective methods, 1REG overestimates quantiles at all stations but one (Olovske Luke), while BASIN is mostly between ± 0.25 around 1, except at the Reljevo station where the ratio is 1.5. Blažuj and Donja Višća are the only stations where B17C quantile estimated from the longer period is close to 1.25, compared to the prevailing range of ± 0.15 around 1 at other stations.

The applied regionalization methods in general give balanced 100-flood quantiles at six stations: Bioštica, Blažuj, Merdani, Miljacka, Olovo and Olovske Luke, while for the remaining six stations, they tend to overestimate flood quantiles. The regionalization methods or attributes that systematically over or underestimate flood quantiles cannot be singled out from the results shown in Figure 14. The stations where the flood quantile overestimation is present: Donja Višća, Reljevo and Zavodovići_K, comprise carstic formations in their basins, which is not the case in the Kaloševići station, also overestimated by the regional analyses methods.

3.4. The Sava River basin in Bosnia and Herzegovina

Understanding the importance of karst in the rainfall-runoff process in the basins of Bosnia and Herzegovina, a subjective regionalization of catchments is performed in the Flood hazard and flood risk mapping project [44], where a robust division of the territory in three belts of Dinaric Alps or Dinarides is used [45](Figure 15).

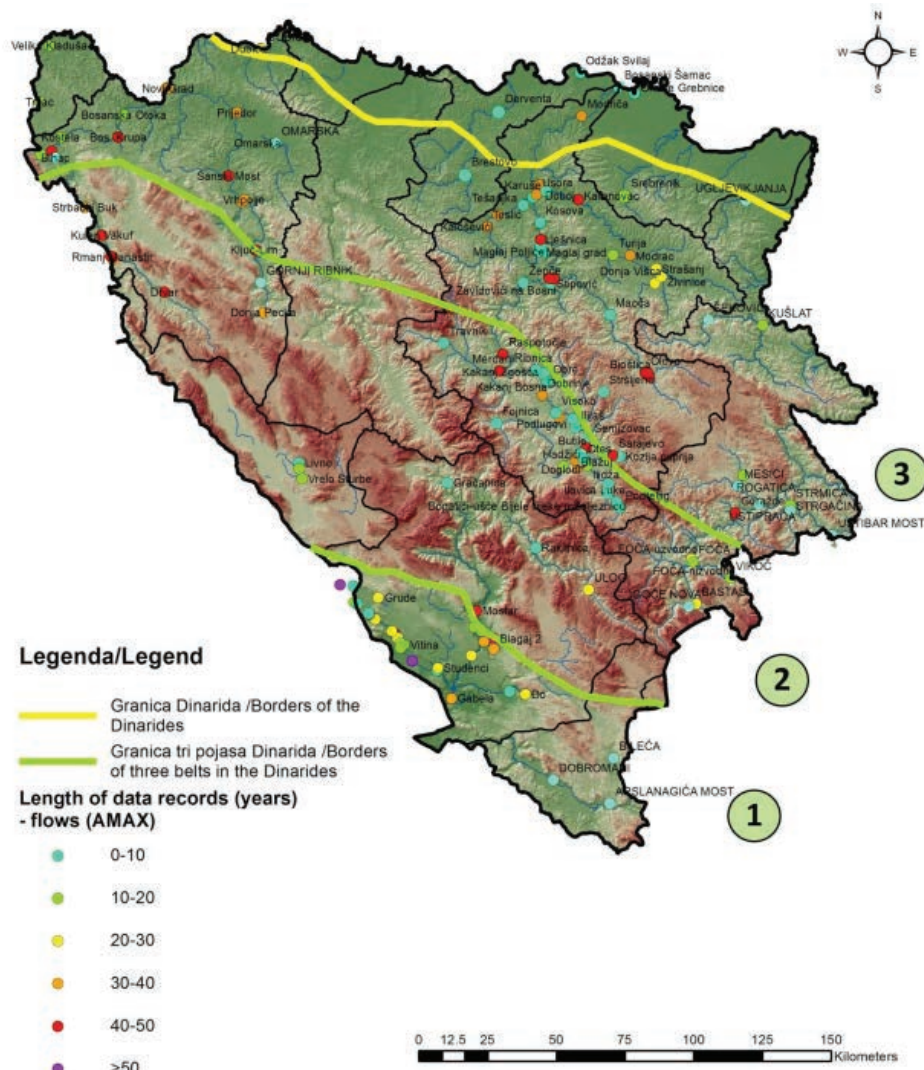


Figure 15. Three belts of Dinarides and location of hydrologic stations with gauging data record lengths

The station marker colors in Figure 15 show the available data record length in the period 1961-2016 at each hydrologic station. The stations considered for regional analysis are selected according to both physical/morphological and statistical requirements: 1) up to 2500 km² of catchment area, due to difference in flood-generating processes in larger and smaller catchments, 2) more than 20 years in data record, and 3) homogeneous AMS proven by statistical tests.

The classification of catchments in three belts of Dinarides is done according to its prevailing area (>50%) in the belt. A number of stations that met the requirements set for regional analysis in belts 2 and 3 of the Dinarides is satisfactory, while in belt 1 it is not, due to the requirements of the intended regression analysis with two-parameter model. Therefore, further regionalization is done for the Belts 2 and 3. Four CDFs are considered for flood quantile estimation at each station: two-parameter Log-normal, Gumbel, Pearson 3 and Log-Pearson 3 (LPT3). The CDF adopted at each station is the best fit to empirical function. The prevailing CDF is LPT3.

The estimated flood quantiles at the Belt 2 and Belt 3 stations are transformed to specific/normalized runoff and two regression models type (2) are defined, as shown in Table 4 and Figure 16 and Figure 17. Region homogeneity is not tested.

Return period T (years)	Region/ Belt 2		Region/ Belt 3	
	$q_{max,T}$ regression model (2)	R^2	$q_{max,T}$ regression model (2)	R^2
20	$3.9952 A^{-0.356}$	0.76	$4.3705 A^{-0.349}$	0.38
100	$7.2716 A^{-0.406}$	0.76	$6.5257 A^{-0.361}$	0.36
500	$6.8608 A^{-0.364}$	0.52	$13.244 A^{-0.435}$	0.41

Table 4. Regression models for estimating specific flood runoff via catchment area, defined for the Belt 2 and Belt 3 of the Dinarides

Better regionalization results are achieved in

the Belt 2 compared to the Belt 3, according to the coefficient of determination (Table 4). However, the corresponding 100-year flood quantile estimates in the Vrbas River Basin catchments [45], shown in Figure 16 and Figure 17, exhibit better agreement in the Belt 3 compared to the Belt 2 where they are definitely smaller.

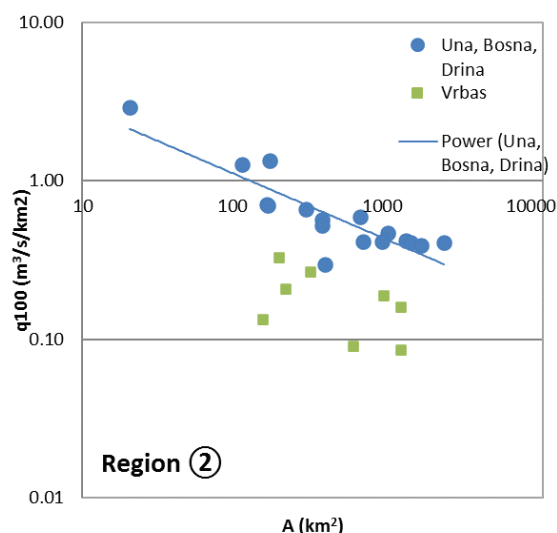


Figure 16. 100-year normalized flood quantile regression model in the three belts of Dinarides – Region 2

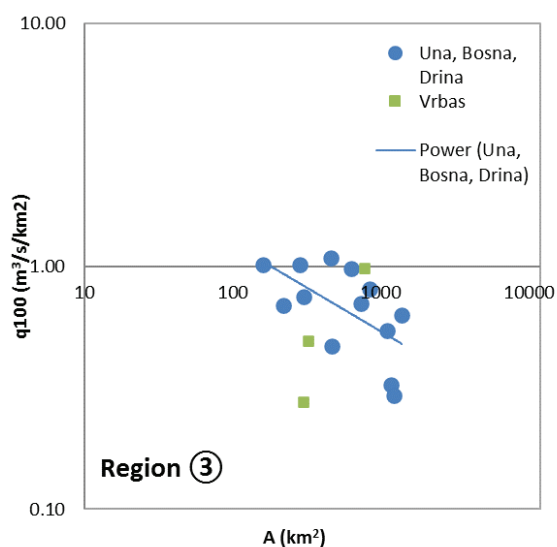


Figure 17. 100-year normalized flood quantile regression model in the three belts of Dinarides – Region 3

The hydrodynamic flow modelling conducted

for the flood hazard mapping [43], yielded better results with flood quantiles assessed from the presented regionalization results when applied to ungauged locations at the river reaches, compared to other flood quantile estimates obtained by the alternative regionalization (large basin by large basin) and rainfall-runoff modelling performed within the project [43].

4. Conclusion

Seven different regional analysis examples for the territory of Bosnia and Herzegovina are shown in the paper, where the spatial information expansion technique is used as an option for more reliable determination of the AMS statistical parameters, CDF parameters, flood quantiles, and simulation model parameters.

In the examples where flood quantiles are used, a different CDFs are considered: the GEV in two examples, LPT3 as a second choice, and a mix according to the best fit to empirical function.

The prevailing region pooling method in the examples is subjective, run by affiliation of catchments to a larger basin, or forced by the karst content. Among objective region pooling methods, three different methods are shown in one example, ROI, Cluster and a newly proposed combined method of the two. There is one example where region homogeneity is tested prior to flood information transfer. Two examples use index-flood method for the information transfer, while the rest use regression.

The following is concluded:

1. There are catchment attributes not suitable for regional analysis (e.g. runoff coefficient);
2. Regional analysis may be an excellent source of support when estimating simulation model parameters. However, results obtained by the models with regionally assessed parameters need to be verified;
3. Hydrological homogeneity of the region has to be tested;
4. Regional models developed in the past have to be updated and checked for performance;
5. Besides catchment area, there is a variety of attributes that should be considered in any new regional analysis. Some of them should reflect karst content of the catchment.

The recent regionalization examples from the territory of Bosnia and Herzegovina show that new research findings and newly developed methods are successfully implemented in regional hydrology in the Country.

REFERENCES

- [1] M. Mizutori and D. Guha-Sapir, "Economic Losses, Poverty & Disasters 1998-2017," CRED, UNISDR.
- [2] Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risk, European Parliament and the Council of European Union, 2007.
- [3] Uredba o vrstama i sadržaju planova zaštite od štetnog djelovanja voda, Službene Novine Federacije BiH, 2009.
- [4] B. Blagojević, V. Mihailović and A. Muaomerović-Šeta, "The effect of mixed peak data on the flood quantile estimates in a single station analysis: Case study," in Annual of the University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy Sofia, 2020.
- [5] V. Plavšić, D. Pavlović, V. Mihailović and B. Blagojević, "Statistička analiza velikih voda u prisustvu izuzetaka," Vodoprivreda, Vol. 48, No. 279-281, pp. 5-17, 2016.

3. BH Kongres o vodama / 3rd B&H Water Congress

- [6] Q. J. Wang, "A Bayesian joint probability approach for flood record augmentation," *Water Resources Research*, Vol. 37, No 6, pp. 1707-1712, June, 2001.
- [7] A. Schumann, G. Blöschl, "Merkblatt DWA-M 552 Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten", Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., August, 2012.
- [8] V. Vukmirović, *Analiza verovatnoće pojave hidroloških veličina*, Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- [9] A. Mulaomerović-Šeta, B. Blagojević, V. Mihailović and Ž. Lozančić, "Flood frequency assessment in poor data environment Case study Maglaj-Poljice on the river Bosna," in *ECCOMAS MSF 2019, 4th International Conference on Multi-scale Computational Methods for Solid and Fluids*, 2019.
- [10] R. Merz and G. Blöschl, "Flood frequency hydrology: 1. Temporal, spatial, and causal expansion of information," *Water Resources Research*, Vol. 44, No. 8, August, 2008.
- [11] R. Merz and G. Blöschl, "Flood frequency hydrology: 2. Combining data evidence," *Water Resources Research*, Vol. 44, No. 8, August, 2008.
- [12] R. A. Rao and V. Srinivas, *Regionalization of watersheds an approach based on cluster analysis*, Springer, 2008.
- [13] V.-T.-V. Nguyen, T.-D. Nguyen and F. Aaskar, "Regional Frequency Analysis of Extreme Rainfalls, *Water Science and Technology*," *Water Science and Technology*, Vol. 45, No. 2, pp. 75-81, January, 2002.
- [14] D. H. Burn, "Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures," *Journal of Hydrology*, Vol. 202, pp. 212-230, 1997.
- [15] D. Gingras and K. Adamowski, "Homogeneous region delineation based on annual flood generation mechanism," *Hydrological Sciences*, Vol. 38, No. 2, pp. 103-121, April, 1993.
- [16] B. Bobee and P. F. Rasmussen, "Recent advances in flood frequency analysis," *U.S. National report to international union of geodesy and geophysics*, pp. 1111-1116, July, 1995.
- [17] A. Mulaomerović-Šeta, *Primjena regionalnih analiza u poboljšanju ocjene kvantila velikih voda - Doktorski rad*, Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet, February, 2022.
- [18] T. Dalrymple, "Flood-Frequency Analysis Manual of Hydrology: Part3. Flood flow techniques," *Geological Survey Water-Supply Paper 1543-A*, U.S. Geological Survey, Washington, 1960.
- [19] H. D. Fill and J. R. Stedinger, "Homogeneity test based upon Gumbel distribution and a critical appraisal of Dalrymple's test," *Journal of Hydrology*, Vol. 166, No. 1-2, pp. 81-105, March, 1995.
- [20] J. U. Chowdhury, J. R. Stedinger and L. Lu, "Goodness-of-Fit Tests for Regional Generalized Extreme Value Flood Distributions," *Water Resources Research*, Vol. 27, No. 7, pp. 1765-1776, July, 1991.
- [21] L. H. Lu, *Statistical method for regional flood frequency investigations*. PhD. Dissertation, Cornell University, Ithaca, NY, 1991.
- [22] L.-H. Lu and J. R. Stedinger, "Sampling variance of normalized GEV/PWM quantile estimators and a regional homogeneity test," *Journal of Hydrology*, Vol. 138, No. 1-2, pp. 223-245, September, 1992.
- [23] C. P. Pearson, "New Zealand regional flood frequency analysis using L-moments," *Journal of Hydrology (New Zealand)*, Vol. 30, No. 2, pp. 53-64, 1991
- [24] J. R. M. Hosking and J. R. Wallis, *Regional frequency analysis an approach based on L-moments*, Cambridge University press, New York, 1997.
- [25] D. H. Burn, "Evaluation of Regional Flood Frequency Analysis With a Region of Influence Approach," *Water resource research*, Vol. 26, No. 10, pp. 2257-2265, October, 1990
- [26] D. H. Burn, "An appraisal of the "region of influence" approach to flood frequency analysis," *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 35, No. 2, pp. 149-165, Decembre, 1990
- [27] Z. Zrinji and D. H. Burn, "Flood frequency analysis for ungauged sites using a region of influence approach," *Journal of Hydrology*, Vol. 153, No. 1-4, pp. 1-21, 1994.

- [28] "The Flood Estimation Handbook (FEH)," UK Centre for Ecology & Hydrology, 1999.
- [29] Š. Imširović, Regionlana analiza karakteristika velikih voda na teritoriji Srbije i Bosne i Hercegovine u periodu 1961. – 1990. Diplomski rad, Građevinski fakultet u Sarajevu, 2020.
- [30] A. Mulaomerović-Šeta, B. Blagojević, Š. Imširović and B. Nedić, "Assessment of regional analyses methods for spatial interpolation of flood quantiles in the basins of Bosnia and Herzegovina and Serbia" in *Advanced Technologies, Systems, and Applications VI - Proceedings of the International Symposium on Innovative and Interdisciplinary Applications of Advanced Technologies (IAT) 2021, Lecture Notes in Networks and Systems, Vol 316.*, November, 2021.
- [31] H. Hrelja, "Definiranje nekih elemenata hidrološkog režima metodom regionalizacije," *Vodoprivreda*, Vol. 37, No. 213-215, pp. 21-34, 2005.
- [32] R. Merz, G. Blöschl and G. Humer, "National flood discharge mapping in Austria," *Nat Hazard*, Vol. 46, No. 1, pp. 53-72, July, 2008.
- [33] R. Merz and G. Blöschl, "Flood frequency regionalisation—spatial proximity vs. catchment attributes," *Journal of Hydrology*, Vol. 302, No. 1-4., pp. 283-306, 2005.
- [34] J. E. Nash and B. L. Shaw, "Flood Frequency as a function of catchment characteristics," *Symposium on River Flood Hydrology*, 1966.
- [35] T. R. Kjeldsen, D. A. Jones and A. C. Bayliss, "Improving the FEH statistical procedures for flood frequency estimation," *Environment Agency, Bristol, Bristol, U. K.*, 2008.
- [36] J. R. Meigh, F. A. K. Karquharson and J. V. Sutcliffe, "A worldwide comparison of regional flood estimation methods and climate," *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 42, No. 2, pp. 225-244, April, 1997.
- [37] R. Merz, G. Blöschl., "Flood frequency regionalisation—spatial proximity vs. catchment attributes," *Journal of Hydrology*, 302, (283 - 306), 2005.
- [38] DHI, *Mike Hydro Basin User Guide*, DHI, 2015.
- [39] Institute for Water Management Ltd., *Flood Risk Management for Republika Srpska Emergency Flood Relief and Prevention – A (EIB No: 2010-0479): TG 27 – Preparation of Detail Designs for Flood Protection Measures at the Northwest of the Republika Srpska, Bijeljina*, 2017.
- [40] EPTISA Servicios de Ingenieria S.L., *Technical assistance for development of the hydrological flood forecasting system for Sava River Basin (Phase 1. Bosna River)*, Sarajevo-Banja Luka, 2019.
- [41] http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisdesktop/com/gp_toolref/spatial_analyst_tools/how_line_density_works.htm
- [42] <https://pubs.usgs.gov/tm/04/b05/tm4b5.pdf>
- [43] <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ssp/download.aspx>
- [44] IPF5 Consortium. TA2015030 R0 IPA/WB12-BIH-ENV-04C1, „Flood Hazard and Flood Risk Maps Project in Bosnia and Herzegovina,” 2020.
- [45] O., Bonacci, „Karst hydrogeology/hydrology of dinaric chain and isles,” *Environ. Earth Sci*, Vol 71, No 1, pp. 37-55, 2015.
- [46] UNDP „Technology transfer for climate resilient flood management in Vrbas River Basin, 2021.

ERASMUS projekti u ekološkom monitoringu na primjeru ECOBIAS projekta

/

ERASMUS projects in ecological monitoring by the example of ECOBIAS project

Dragan Škobić, Ph.D.

University of Mostar
Faculty of Science and Education
Rodoč bb, 88 000 Mostar, B&H
dragan.skobic@fpmoz.sum.ba

Jasmina Kamberović, Ph.D.

University of Tuzla
Faculty of Natural Science and Mathematics
Urfeta Vejzagića 4, 75 000 Tuzla, B&H
jasmine.kamberovic@untz.ba

Selma Otuzbir-Mecan, MA.

International University of Travnik
Aleja kuzula-Meljanac bb, 72 270 Travnik, B&H
otuzbir.selma@gmail.com

Svjetlana Lolić, Ph.D.

Faculty of Science and Mathematics
Milorada Stojanovića 2, 78 000 Banja Luka, B&H
svjetlana.lolic@pmf.unibl.org

Snežana Radulović, PhD.

University of Novi Sad, Faculty of Science
Trg Dositeja Obradovića 3, 21 000 Novi Sad, Serbia
snezana.radulovic@dbe.uns.ac.rs

Anđela Jakšić-Stojanović, PhD.

University of Donja Gorica
Oktoih 1, 81 000 Podgorica, Montenegro
andjela.jaksic@udg.edu.me

Dužanka Cvijanović, PhD

University of Novi Sad, Faculty of Science
Trg Dositeja Obradovića 3, 21 000 Novi Sad, Serbia
dusanka.cvijanovic@dbe.uns.ac.rs

Netaknuti vodeni ekosustavi preduvjet su održivog razvoja. Stoga su za pouzdanu ocjenu ekološkog stanja slatkovodnih ekosustava važni postupci biološke procjene i kontinuirani biomonitoring. Takve procjene su pravno obvezujuće kao dio Europske okvirne direktive o vodama (WFD) i uspostavljene u svim državama članicama EU. Stoga su potrebni stručnjaci u području ekološkog biomonitoringa i bioprocjene vode. Poboljšanje mobilnosti studenata, istraživača i nastavnog osoblja te poboljšanje kapaciteta u visokom obrazovanju vrijednosti su koje Europska unija promiče kroz ERASMUS+ programe. Stoga će ovaj rad opisati glavne i specifične ciljeve, aktivnosti i rezultate trogodišnjeg ERASMUS + projekta ECOBIAS (Razvoj master kurikuluma ekološkog praćenja i bioprocjene vode za visokoškolske ustanove Zapadnog Balkana).

Ključne riječi

ECOBIAS, ekološki monitoring, vodeni ekosustav, EMAB, slatka voda

Intact aquatic ecosystems are a prerequisite for sustainable development. Hence for the reliable assess the ecological state of freshwater ecosystems, bioassessment procedures and continuous biomonitoring are important. Such assessments are legally binding as part of the European Water Framework Directive (WFD) and established through all EU member states. Therefore, professionals in the field of ecological biomonitoring and aquatic bioassessment are needed. Improving the mobility of students, researchers and teaching staff and improving capacity in higher education are all values that the European Union promotes through ERASMUS + programs. Therefore, this paper will describe the main and specific objectives, activities and results of the three-year ERASMUS + project ECOBIAS (Development of a master curriculum in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs).

Key words

ECOBIAS, ecological monitoring, aquatic ecosystem, EMAB, fresh water

Aquatic ecosystems are a significant source of biodiversity on Earth. Their biodiversity is declining continuously due to various anthropogenic influences [1]. Therefore, the biodiversity of various organisms is a major concern in the conservation of aquatic ecosystems, which also applies to the management of aquatic resources.

Concern for the maintenance biological properties of wetlands, lakes and rivers has led to the notion of 'ecosystem services' as a means of quantifying and assessing the state of various natural environments, including the aquatic ecosystem [2]. Hence intact aquatic ecosystems are a prerequisite for sustainable development.

The degree of aquatic ecosystem naturalness, or ecological status as it is defined in the Water Framework Directive (WFD) of the European Union, is notionally linked to supplies of ecosystem services [3].

Water resources are shared across borders and go beyond national interests, which implies a regional approach to environmental protection and biodiversity conservation. The reliable monitoring and assessment of water resources is fundamental for effective management of water quality and aquatic ecosystems [4]. Bioassessment is

an essential element of aquatic monitoring programs that helps guide decisions for managing the ecological integrity of environmental resources. [5].

The management of water quality in lakes and rivers has been an important environmental issue in Europe during the past decades. Although remarkable improvements have been made, the topic is still current. The European Community is steadily working to improve water quality and to guarantee good status of all waters.

According to the EU Water Framework Directive the assessment of ecological status of rivers and lakes should be mainly based on biological elements, such as aquatic macrophytes, phytobenthos, benthic macroinvertebrates, phytoplankton and fish, supported by hydromorphological characteristics and physical and chemical water quality parameters.

Based on comparative data on the vulnerability of aquatic ecosystems in the Western Balkans (Bosnia and Herzegovina, Serbia, Montenegro and Macedonia), there is a lack of reliable data that is a major problem in assessing the current and future state of water resources. However, the results show high vulnerability of aquatic ecosystems in the Western Balkans [6]. Such circumstances make it difficult to coordinate for proper management of aquatic systems and to find appropriate mechanisms in response to different anthropogenic and climate changes. Therefore, this issue is becoming a burning environmental topic for proposals for future projects and future partnerships. Water resources extend beyond national and regional borders, and institutional building is of significant importance, as is special capacity building in higher education in environmental monitoring and the mobility of trained staff. Based on the above, it is necessary to work on staff education through various masters and courses and work on the mobility of staff in the field of ecology, environmental protection and sustainable development, all of which are EU values that promote this through various funding programs, especially ERASMUS + programs.

1. ECOBIAS

1.1. General information about Project

In January 2020 a three-year project entitled „Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkan HEIs“ was launched. „ECOBIAS aim to develop and improve knowledge/skills/technical resources of Partner Country HEIs in ecological monitoring and freshwater bioassessment in line with national and EU policy. Partners from four Program Countries (PgC) and Partners from Partner Countries

(PC) are participating in this Project (Table 1.). The project coordinating institution holder is University of Novi Sad.

Institution	status	Country
University of Novi Sad	PgC	Serbia
University of Nis	PgC	Serbia
University of Zagreb	PgC	Croatia
University of Duisburg-Essen	PgC	Germany
University of Donja Gorica	PC	Montenegro
University of Mostar	PC	Bosnia and Herzegovina
International University of Travnik	PC	Bosnia and Herzegovina
University of Tuzla	PC	Bosnia and Herzegovina
University of Sarajevo	PC	Bosnia and Herzegovina
University of Banja Luka	PC	Bosnia and Herzegovina
University of East Sarajevo	PC	Bosnia and Herzegovina

Table 1. List of ECOBIAS project institutions

One of the goals of this project is to meet the needs of various public companies in charge of monitoring and environmental protection. Therefore, through various workshops, trainings ... various public and state institutions and agencies in the field of biomonitoring are involved.

1.2. The main and specific objectives of the Project

In general, the proposal aim is to develop and improve knowledge/skills/technical resources of Partner Country HEIs in ecological monitoring and freshwater bioassessment in line with national and EU policy.

The *specific objectives* of the project are:

- ▶ Develop and implement the advanced master curricula in Ecological

Monitoring and Aquatic Bioassessment (EMAB) in the Western Balkan HEIs in line with the Bologna requirements and national accreditation standards;

- ▶ Develop and implement Life Long Learning (LLL) courses for the environmental monitoring sector in line with EU Water Framework Directive in the Western Balkan HEIs;
- ▶ Equip 7 laboratories for ecological monitoring and bioassessment of freshwater ecosystems in the Western Balkan HEIs;
- ▶ Develop regional academic ECOBIAS network in order to organise and promote regional cooperation in EMAB

Students at PC HEIs will have greater chance of getting job after graduation, or after obtaining LLL certificates in EMAB since there is obvious need for professionals in ecological monitoring and aquatic bioassessment in PCs. According to the Ministry of Agriculture, Forestry and Water Management and 'The Strategy for Integral Water Management in the Republic of Srpska till 2024' (Bosnia and Herzegovina); the Federal Ministry of Agriculture, Water Management and Forestry (The Sava River Basin District Agency; The Adriatic Sea River Basin District), and Water Management Strategy of the Federation of Bosnia and Herzegovina; and the 'Ministry of agriculture and rural development, and the 'Water Management Strategy of Montenegro', harmonisation of the national ecological monitoring and bioassessment systems of surface waters are national water management priorities. These imply increase of the West Balkan labour market need for ecological monitoring and aquatic bioassessment professionals.

2. Project activities and results

The ECOBIAS project conducted a detailed

comparative analysis of PgCs and PCs knowledge/skills/practices in environmental monitoring and water bioassessment. The results of the analysis showed the need for strengthening, modernization and development in the field of environmental monitoring and water bioassessment. In PgCs and PCs no explicit Master study programmes for EMAB exists. However, as part of several other Master study programmes, several modules (or parts of modules) exist that are closely related to content relevant to EMAB. Also, the analysis showed that knowledge transfer and skills training within the training program should range from environmental legislation, chemical assessment, GIS-based skills identification, bioindications, ecotoxicology, environmental assessment, DNA-based monitoring, data analysis remote sensing to environmental decision making.

In accordance with the preliminary results, at least 27 master ECOBIAS courses from EMAB and 14 LLL courses were realized., covering all fields of ecological monitoring and bioassessment (monitoring of macrophytes, macro-invertebrates, algae, fish, riparian habitats, hydromorphology, freshwater microbiology, ecotoxicology, EU legislation in freshwater conservation and management, GIS and remote sensing, environmental engineering, as well as advanced techniques and approaches for data processing). Also, at least 68 members of Western Balkan PC teaching staff trained. Also, at least 18 participants from the Western Balkan PC environmental monitoring sector were trained.

It is important to point out that 7 new laboratories were equipped in accordance with the existing equipment and courses held at HEIs. All laboratories are equipped with equipment sufficient for effective ecological monitoring and assessment of aquatic ecosystems. Laboratory equipment at the University of Tuzla is the only one implemented and equipped

for molecular monitoring. This is the first laboratory for DNA metabarcoding and molecular monitoring of aquatic ecosystems in the Western Balkans. That is why the Summer School DNA Metabarcoding was held at the University of Tuzla, with over 50 students and 22 professionals participating. These were courses related to molecular techniques in environmental monitoring. The target groups were students from other Partner Countries HEIs and other universities in the region and EMAB professionals. Teaching materials and various field protocols were prepared by PCs filled experts and translated into the official languages of Bosnia and Herzegovina and Montenegro. Over 20 textbooks have been prepared and published online for a target group of students and teaching staff from other HEIs in the Western Balkans.

One of the main goals of the Project is to strengthen the master curriculum in water resources management for HEIs in the Western Balkans. The ECOBIAS project has shown outstanding results here. Four master studies at the HEIs in Bosnia and Herzegovina have been established (University of Sarajevo, University of Tuzla, International University of Travnik and University of East Sarajevo). The success is even greater knowing the procedure required for the accreditation and implementation of these master studies. At least 28 students are enrolled in the new master curricula in this 2021/2022 academic year. Also, in accordance with current national legislation and procedures, and in accordance with the Bologna requirements, LLL courses in EMAB have been accredited and implemented at two universities in Bosnia and Herzegovina (University of Mostar, University of Banja Luka) and one in Montenegro (University of Donja Gorica).

Due to lack of collaboration and partnerships among professionals in EMAB in the Western Balkan region, it was very difficult to reco-

gnise and select consortium partners and academic staff. In order to overcome this issue, establishment of ECOBIAS regional academic network and internet platform was proposed as separate work package. A network dealing with EMAB didn't exist in the Western Balkans region until beginning of ECOBIAS. The Academic Network and the ECOBIAS-NET Internet Platform have been established and developed, which will contribute to the overall integration of the Western Balkan region and cooperation between the EU and the Western Balkan countries. The Network will gather the EMAB academics and professionals from the all Western Balkan countries, not just from the partners HEIs. The ECOBIAS-NET platform will enable members to connect and collaborate, prepare project proposals, share ideas and knowledge, prepare scientific papers together, etc. This will also enhance the student exchange, and shared mentorship of PhD and MSc theses in EMAB among HEIs. Also integrating the agencies to the ECOBIAS Platform will strengthen institutional cooperation and capacity building in education.

As part of the dissemination, Open Days were held by all PC HEIs. The purpose of the Open Day was to provide insight into studying at the University, in order to attract future students and inform the general public about the results of the Project and other activities of the institution.

Also, as part of the dissemination, round tables were organized. In accordance with the project tasks, round tables were organized in each PC HEI. The aim of the round tables is primarily to create a proactive strategy with stakeholders in the field of environmental monitoring and bioassessment and the benefits of the ECOBIAS-NET platform for stakeholders.

3. Conclusion

After two years of implementation, for the ECOBIAS project it can be said that it has already achieved all its goals. What is important is that this Project has become a leader in improving the environmental water management of the Western Balkans region.

Significant conditions have been created for the development of professional staff in the field of ecological monitoring and bio-indication of aquatic ecosystems. Then, the capacity of professional staff and networking of HEIs was achieved with the aim of joint cross-border cooperation and application for EU projects within various programs such as HORIZON 2020 and Danube Transnational Program.

The establishment of a unique methodological framework would provide the necessary conditions for the development of a standardized methodology for assessing the ecological status of lakes and rivers in accordance with the EU Water Framework Directive (WFD). Development and intercalibration of ecological status assessment system at national and regional levels is long lasting process which require comprehensive databases of regularly monitored biological and environmental attributes. Therefore, building capacities in HEIs in the Western Balkans region for the area of EMAB represent necessary and inevitable step toward the integration of EU environmental policy in the region.

Apart from HEIs, the economy and agencies in the field of biomonitoring and environmental protection will have the greatest benefit, as they will receive the appropriate type of professional staff. These experts will be able to solve various problems in the field of ecomonitoring related to the understanding of spatial data, various legislations and an interdisciplinary approach to problem solving.

It should also be noted that this project encouraged members of the project team to further cooperate with each other at various professional levels, which contributes to maintaining continuity in the field of EMAB.

With its results, this project is a guide in overcoming problems in the field of environmental management.

REFERENCES

- [1] Irfan S, Alatawi, AMM, Aquatic Ecosystem and Biodiversity: A Review, Open Journal of Ecology, 9, 1-13, 2019.
- [2] Marshall SJ, Reference Module in Earth Systems and Environmental Science, Elsevier, USA, 2013.
- [3] Tolonen KT, Hamalainen H, Lensu A, Merilainen JJ, Palomaki A and Karjalainen J, The relevance of ecological status to ecosystem functions and services in a large boreal lake, Journal of Applied Ecology, 51, 560-571, 2014.
- [4] Park YS and Hwang SJ, Ecological Monitoring, Assessment, and Management in Freshwater Systems, Water, 8(8), 2016.
- [5] Beck MW, O'Hara C, Stewart Lownder J, Mazor RD, Theroux S, Gillet DJ, Lane B and Gearheart G, The importance of open science for biological assessment of aquatic environments, PeerJ, 8, 1-27, 2020.
- [6] Markovski J, Hristovski KD, Olson LW, Chemistry and Water The Science Behind Sustaining the World's Most Crucial Resource, Elsevier, USA, 2017.

Modernizacija nastavnog procesa u oblasti upravljanja vodnim resursima na Zapadnom Balkanu

/

Modernization of the teaching process in the field of water resources management in the Western Balkans

Prof. dr Milan Gocić, dipl.inž.el.

Građevinsko-arhitektonski fakultet
Univerziteta u Nišu
milan.gocic@gaf.ni.ac.rs

Prof. dr Emina Hadžić, dipl.inž.

Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu
Patriotske lige 30
emina_hadzic@gf.unsa.ba

Prof. dr Barbara Karleuša, dipl.inž.

Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci
Radmile Matejčić 3
barbara.karleusa@gradri.uniri.hr

Da bi bile konkurentne u svetskoj naučnoj oblasti, visokoškolske ustanove Zapadnog Balkana treba da uvedu napredan proces nastave i učenja. Kreiranje programa letnjih i zimskih škola i stručnih praksi u saradnji sa industrijom, malim i srednjim preduzećima, kao i uključivanje stručnjaka iz prakse u obrazovni proces i unapređenje nastave i učenja korišćenjem digitalnih tehnologija i alata samo su deo procesa koji čeka visokoškolske institucije na Zapadnom Balkanu.

U ovom radu su istaknuti glavni postignuti rezultati i zaključci tokom realizacije jednog od nagrađenih Erasmus+ projekata – SWARM (Jačanje master kurikuluma iz oblasti upravljanja vodnim resursima na visokoškolskim institucijama Zapadnog Balkana). Da bi se proces implementacije novih znanja i inovativnih predavačkih tehnika uspešno sproveo na području Zapadnog Balkana značajna je i pomoć partnera iz zemalja Evropske unije. Oni su dali doprinos ostvarenju SWARM rezultata na temelju svog iskustva.

Ključne riječi

Upravljanje vodnim resursima, Erasmus+ projekti, visokoškolsko obrazovanje, kompetencije, Zapadni Balkan

In order to be competitive in the world of science, higher education institutions in the Western Balkans need to introduce an advanced teaching and learning process. Creating summer and winter school programs and professional practices in cooperation with industry and the SME sector, involving industry experts in the educational process and improving teaching and learning using digital technologies and tools are just some of the processes awaiting higher education institutions in the Western Balkans. This paper highlights the main results and conclusions achieved during the implementation of one of the awarded Erasmus+ projects – SWARM (Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans Higher Education Institutions (HEIs) and stakeholders). In order to implement new knowledge and innovative teaching techniques successfully in the Western Balkans, the assistance of partners from European Union countries is also important. They contributed to the achievement of SWARM results based on their experience.

Key words

Water resources management, Erasmus+ projects, higher education, competences, Western Balkan

Značaj vodnih resursa je neprocenjiv. Voda je osnov života, razvoja društva i privrede. Kako bismo ju očuvali, važno je prepoznati značaj obrazovnog procesa, kako u segmentu obrazovanja novih stručnjaka, tako i u prepoznavanju potrebe za organizovanjem kurseva celoživotnog učenja u skladu sa novim tehnikama i tehnologijama, te potrebama koje se nameću pred vodni sektor. Neophodno je primeniti inovativna rešenja i interdisciplinarne pristupe kako bi se osigurala održiva upotreba vodnih resursa.

Prema šestom izveštaju o proceni Međuvladinog panela o klimatskim promenama, na vodni ciklus uveliko utiču klimatske promene. Stoga je potrebna snažna saradnja između akademske zajednice i vodnog sektora, kao i drugih sektora koji su direktno ili indirektno povezani sa vodom, kako bi se odgovorilo na buduće izazove uzrokovane klimatskim promenama i sagledao njihov uticaj na vode. Zemlje Zapadnog Balkana treba da usklade zakonodavnu regulativu u oblasti upravljanja vodnim resursima a pre svega s poglavljem 27 zahteva Evropske unije (EU) za upravljanje vodama. Od visokoškolskih institucija iz ovog regiona očekuje se unapređenje postojećih kurikuluma u oblasti upravljanja vodnim resursima i razvoj kurseva celoživotnog učenja za zaposlene u vodnom sektoru (Gocic, 2020.).

Evropska komisija finansira jačanje kapaciteta visokoškolskih institucija i njihovih istraživača putem različitih vrsta programa kao što su Tempus, Erasmus+, FP6, FP7, Horizon 2020, a sada i putem programa Horizon Europa. Erasmus+ predstavlja program Evropske unije namenjen obrazovanju, osposobljavanju, mladima i sportu, podstičući povezivanje institucija aktivnih u području obrazovanja s poslovnim sektorom i tržištem rada. Finansirani projekti u okviru Erasmus+ programa doprinose povećanju kompetencija, znanja i veština budućih stručnjaka, stvarajući socijalni napredak država i regiona uključenih u ovaj program. Ključne akcije koje se sprovode kroz ovaj program odnose se na mobilnost pojedinaca, saradnju za inovacije i razmenu dobrih praksi, potporu za jačanje politike, aktivnosti programa Jean Monnet i podrška sportu.

Jedan od projekata odabranih za finansiranje u 2018. godini je projekat SWARM (Jačanje master kurikuluma iz oblasti upravljanja vodnim resursima na visokoškolskim institucijama Zapadnog Balkana, www.swarm.ni.ac.rs) (Filkov, 2019; Karleusa, 2019; Skoulikaris & Ganoulis, 2020; Gocic et al., 2021; Tritthart and Gocic, 2021), koji je započeo 15.11.2018. godine, uz učešće četrnaest partnerskih institucija iz deset zemalja (Grčka, Norveška, Hrvatska, Portugal, Austrija, Bugarska, Srbija, Bosna i Hercegovina, Crna Gora i Kosovo*) i četiri pridružene partnerske institucije (Sofiyska Voda AD, Regionalni vodovod Crnogorsko primorje, Udruženje Aarhus Centar u BiH i Udruženje za tehnologiju vode sanitarnu tehniku).

Opšti cilj SWARM projekta je obrazovanje stručnjaka u oblasti upravljanja vodnim resursima u regionu Zapadnog Balkana, a u skladu s politikama EU i nacionalnim politikama. Ovaj cilj je dopunjen implementacijom sledećih specifičnih ciljeva koji su u potpunosti u skladu s prioritetima projekata izgradnje kapaciteta u visokom obrazovanju:

- ▶ Pобољшanje nivoa kompetencija i veština na visokoškolskim institucijama Zapadnog Balkana, modernizacijom ili razvojem novih i inovativnih studijskih programa u području upravljanja vodnim resursima u skladu sa zahtevima Bolonjske deklaracije i nacionalnim standardima akreditacije.
- ▶ Modernizacija laboratorija na visokoškolskim institucijama Zapadnog Balkana u saradnji s partnerima iz programskih zemalja, stvarajući osnovu za razvoj praktičnih veština budućih stručnjaka u području upravljanja vodnim resursima.
- ▶ Razvoj i implementacija kurseva celoživotnog učenja u vodnom sektoru u skladu s Okvirnom direktivom EU o vodama.

1. Usklađivanje kurikuluma upravljanja vodnim resursima između EU i Zapadnog Balkana

Upravljanje vodnim resursima zahteva dobro edukovane profesionalce sa odgovarajućim znanjem, kompetencijama, veštinama i stručnošću. Najveća odgovornost za njihovo obrazovanje je na visokoškolskim institucijama. Kako bi se osiguralo da visokoškolske institucije primenjuju najsavremenije znanje pri rešavanju problema u sektoru voda, one treba da su u direktnoj vezi sa privrednim subjektima koji se bave vodom. Osim toga, stručnjaci iz sektora voda treba da budu uključeni u obrazovni proces.

Realizacijom aktivnosti na projektu SWARM i analizom trenutnog stanja u oblasti upravljanja vodnim resursima zaključeno je da visokoškolskim institucijama sa Zapadnog Balkana nedostaju neophodne veštine za izgradnju najsavremenijih laboratorija u ovoj oblasti, kao i adekvatna finansijska sredstva koja bi mogla značajno da podignu nivo njihove zrelosti. Zbog toga je neophodno preneti inovativne i novorazvijene tehnologije, najbolje iskustvo stečeno u savremenim EU laboratorijama, kao i bogato iskustvo u razvoju i modernizaciji studijskih programa sa EU na institucije Zapadnog Balkana. Zaposleni u oblasti upravljanja vodnim resursima treba da imaju znanje i razumevanje nauke u sprezi sa primenjenim i praktičnim veštinama.

Savremeni master nastavni planovi i programi treba da obuhvate znanja o fenomenima vode, specifičnim savremenim i inovativnim tehnologijama, i da uravnoteže društvene i ekonomske potrebe. Diplomirane studente sa stečenim primenljivim znanjima, veštinama i kompetencijama treba direktno uključiti u proces rešavanja problema u sektoru voda primenom naprednih tehnologija. Upotreba laboratorija opremljenih najsavremenijom opremom omogućiće studentima da steknu

praktično iskustvo koje se može direktno preneti na sektor voda.

Strategija usklađivanja kurikuluma između institucija EU i Zapadnog Balkana zasnovana je na analizi i proceni različitih kurikuluma u oblasti upravljanja vodnim resursima. Kreiran je katalog kompetencija koji je korišćen za uspostavljanje odgovarajućih veza između nastavnih predmeta i kompetencija studenata. Katalog razmatra tri vrste kompetencija: 1) generičke, 2) inženjerske kompetencije i 3) kompetencije vezane za upravljanje vodnim resursima (<http://www.swarm.ni.ac.rs/activities?id=43>).

U generičke kompetencije ubrajaju se: kritičko razmišljanje, kreativnost, inicijativnost, kolaboracija, generisanje novih istraživačkih ideja, rad u međunarodnom okruženju, efikasno liderstvo, primena znanja u praksi, kritičko donošenje odluka zasnovano na iskustvu. Neke od inženjerskih kompetencija su: statistička obrada podataka radi definisanja adekvatnih zaključaka, razumevanje šireg koncepta inženjerske discipline, korišćenje odgovarajućih inženjerskih softverskih paketa kao pomoć u istraživanju, analizi i rešavanju problema, korišćenje laboratorijske opreme na siguran i kompetentan način, prikupljanje neophodnih podataka iz naučnih i stručnih dokumenata, definisanje ciljeva za jednostavne projekte u različitim inženjerskim disciplinama, prezentovanje ideja i rešenja problema. U grupu kompetencija vezanih za upravljanje vodnim resursima ubrajaju se: optimizovanje i upravljanje vodnim resursima, primena ICT u upravljanju vodnim resursima, razvoj ljudskih resursa u upravljanju vodnim resursima, razumevanje Okvirne direktive o vodi i proces njene implementacije, upotreba matematičkih modela za simulaciju procesa orijentisanih ka vodi, usvajanje znanja o EU zakonodavstvu o vodnim resursima, holistički i proaktivni pristup problemima u oblasti upravljanja vodnim resursima.

Nakon usvajanja lista kompetencija i uporedne analize kurseva između EU i partnera sa Zapadnog Balkana, razvijeni su novi nastavni predmeti ili modernizovani postojeći zasnovani na kompetencijama.

2. Primeri stečenih kompetencija studenata

U ovom delu biće predstavljene stečene kompetencije svršenih studenata Građevinskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu i Građevinsko-arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Nišu.

2.1. Kompetencije studenata Građevinskog fakulteta u Sarajevu stečenih kroz SWARM kurikulum

Završetkom master akademskih studija **Tretman i zaštita voda** Univerziteta u Sarajevu, student stiče opšte akademske i lične veštine za:

- ▶ kritičko i samokritičko vrednovanje argumenata, pretpostavki, koncepata i podataka u donošenju odluka,
- ▶ rešavanje problema na kreativan način,
- ▶ implementaciju naprednih računarskih modela u rešavanju tehničkih problema,
- ▶ komunikaciju sa međunarodnim okruženjem,
- ▶ primenu stečenih znanja u daljem akademskom obrazovanju,
- ▶ istraživačke aktivnosti primenljive u analizi i rešavanju konkretnih problema u teoriji i praksi,
- ▶ primenu znanja u procesu rešavanja složenih problema u novom ili nepoznatom okruženju;
- ▶ integrisanje znanja, rešavanje složenih inženjerskih problema i rasuđivanje na osnovu dostupnih informacija, uključujući razmatranja i odgovornosti,

- ▶ jasno i nedvosmisleno prenošenje znanja stručnoj i široj javnosti.

Savladavanjem programa student stiče sledeće kompetencije specifične za oblast

Inženjerstva voda i životne sredine:

- ▶ demonstrirani kapacitet za rešavanje problema primenom osnovnih inženjerskih i naučnih principa, inženjerskih procesa i generičkih veština,
- ▶ projektovanje i izvođenje svih vrsta hidrotehničkih objekata,
- ▶ projektovanje i izvođenje svih vrsta objekata iz oblasti geotehnike,
- ▶ razvoj i implementacija projekata izgradnje i upravljanja opremom,
- ▶ izrada predinvesticionih studija i procena vrednosti građevinskih radova i objekata,
- ▶ obezbeđivanje tehničkog i komercijalnog upravljanja,
- ▶ primena metoda za procenu uticaja građevinskih objekata na životnu sredinu i tehničkih mera zaštite životne sredine u procesu planiranja, projektovanja, izgradnje i održavanja objekata.

2.2. Kompetencije studenata Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu stečenih kroz SWARM kurikulum

Završetkom master akademskih studija **Inženjerski menadžment**, student stiče opšte akademske i lične veštine za:

- ▶ kritičko i samokritičko vrednovanje argumenata, pretpostavki, koncepata i podataka u donošenju odluka,
- ▶ rešavanje inženjerskih problema na kreativan način,
- ▶ implementaciju naprednih računarskih modela u rešavanju tehničkih problema,
- ▶ primenu stečenih znanja radi daljeg usavršavanja.

Savladavanjem programa student stiče sledeće kompetencije specifične za oblast

Inženjerskog menadžmenta:

- ▶ sposobnost koordinacije i administriranja programa, aktivnosti i protokola,
- ▶ sposobnost upravljanja resursima, praćenja aktivnosti i procene rizika po životnu sredinu, bezbednosti i kontrole kvaliteta u vezi sa programom,
- ▶ sposobnost da procenjuje i odobrava umereno složene programske/ projektne specifikacije za kompletnost, kompatibilnost, usklađenost sa inženjerskim principima, standardima, kodeksima i potrebama dizajna,
- ▶ sposobnost da vrši inspeksijski nadzor/ reviziju kako bi osigurao da se poštuju odgovarajuće procedure

3. Značaj letnjih/zimskih škola u obrazovnom procesu

Unapređenje internacionalizacije širom Evrope bila je glavna preokupacija Evropske unije poslednjih godina. Jedan od vidova ostavrenja međunarodne razmene i saradnje je i kroz organizaciju letnjih/zimskih škola koje bi mogle postati deo aktivnosti visokoškolskih institucija Zapadnog Balkana nakon završetka SWARM projekta.

Tokom realizacije SWARM projekta razvijeno je i implementirano šest škola kao deo strategije internacionalizacije. Različiti izazovi su se javljali tokom realizacije ovih škola. Glavni problemi nastaju u kontekstu organizacije, posebno u periodu COVID-19 pandemije, i nastave na način da odgovara potrebama

kratkotrajnog intenzivnog obrazovanja. Iz navedenog razloga organizovano je ukupno 25 virtuelnih studentskih mobilnosti uz korišćenje Microsoft Teams ili Zoom platforme za odvijanje nastavnih aktivnosti.

Tokom škola obrađene su različite teme koje se odnose na upravljanje vodnim resursima. Opšti cilj organizovanih škola bio je unapređenje znanja iz oblasti upravljanja vodnim resursima, davanje samopouzdanja u razgovoru na stranom jeziku, unapređenje opštih veština kao što su izlaganje prezentacije i davanje uvida u rad na pojedinačnoj istraživačkoj temi.

Karakteristično je da su studenti imali različita iskustva u učenju i da nikom od učesnika, ni studentima ni profesorima, engleski nije maternji jezik.

Škole su se sastojale od predavanja i praktične nastave. Nažalost, zbog COVID-19 nisu organizovani društveni događaji i izleti. U praksi, da bi se postiglo bolje razumevanje, a takođe i visok stepen pamćenja, potrebno je stvoriti unakrsne veze između predavanja, praktičnog rada i terenske nastave (ekskurzije).

Kao primer realizovane zimske škole prikazaćemo školu realizovanu od strane kolega sa Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci u trajanju od dve nedelje. Škola se sastojala iz dva dela. Prvi deo bio je orijentisan na predavanja, a drugi deo na rad studenata u okviru kojeg su oni istraživali temu vodoprivredne strukture u svojoj zemlji ili u svetu i pripremali prezentaciju koju su kasnije i održali.

U okviru predavanja obrađene su sledeće teme:

- ▶ vodoprivreda,
- ▶ snabdevanje pijaćom vodom,
- ▶ zaštita od poplava i bujica,
- ▶ odvodnjavanje (otpadne i atmosferske

vode) u urbanim/ruralnim područjima,

- ▶ obalni inženjering,
- ▶ klimatske promene i upravljanje vodama,
- ▶ hidraulične konstrukcije: brane i rezervoari,
- ▶ hidraulika.

U istraživačkom delu samostalnog rada studenata bila su zadani različiti zadatci. Prvi zadatak bio je da na osnovu znanja koje su stekli tokom predavanja opišu strukturu upravljanja vodama u svojoj zemlji, uključujući: pravni okvir, zakonodavstvo, organizaciju, administrativnu strukturu, finansiranje vodoprivrede, međunarodnu saradnju.

U okviru drugog zadatka studenti su prezentovali sistem za vodosnabdevanje grada u kome studiraju i/ili žive. Za odabrani sistem (u zavisnosti od raspoloživog materijala) opisali su područje vodosnabdevanja, vrstu potrošača, odredili tip sistema prema operativnom modelu, opisali elemente sistema, naveli i objasnili izvore vodosnabdevanja i metode zahvatanja vode, opisali kvalitet vode i kako je kvalitet vode zaštićen i naveli eventualne probleme ako ih ima.

U okviru trećeg zadatka, na sličan način kao za vodosnabdevanje, studenti su prezentirali sustave odvodnje otpadnih i oborinskih voda odabranih gradova, a u okviru četvrtog zadatka trebali su prezentirati branu, akumulaciju ili neki odabrani hidroenergetski sustav iz svoje zemlje.

U zadatku iz područja obalnog inženjerstva na osnovu znanja koje su stekli tokom predavanja koristeći javne izvore podataka, studenti su trebali pronaći, identificirati i opisati dva lukobrana na definisanom području (vrstu, dužinu, maksimalnu dubinu lukobrana i dr.).

Peti zadatak, u okviru tematike utjecaja kli-

matskih promjena na vodne resurse i sustave, je obuhvaćao prezentiranje odabranog primjera – projekta zelene infrastrukture.

4. Diskusija i zaključci

Modernizovani nastavni planovi i programi zasnovani na prenošenju najboljih praksi sa visokoškolskih institucija EU-a na visokoškolske institucije Zapadnog Balkana, edukovano nastavno osoblje kroz tematske obuke za usvajanje novih metoda nastave i učenja, obrazovani stručnjaci u sektoru voda kroz organizovane kurseve celoživotnog učenja, opremljene laboratorije sa najsavremenijom laboratorijskom opremom i softverima gde će studenti steći praktična znanja koja se odmah mogu primeniti, a generalno unapređenje kvaliteta nastave ojačaće ne samo na visokoškolske institucije Zapadnog Balkana već i sektor voda u regionu Zapadnog Balkana.

U ovom radu je predstavljen značaj modernizacije i unapređenja postojećih studijskih programa u oblasti upravljanja vodnim resursima zasnovano na kompetencijama. Analizirana su tri različita tipa kompetencija, tj. generičke, inženjerske i kompetencije u oblasti upravljanja vodnim resursima.

Zasigurno treba ojačati kapacitete akademskih institucija kako bi mogle da odgovore na potrebe industrije kroz:

- ▶ uspostavljanje novih i inovativnih oblika saradnje poslovne i akademske zajednice za podršku interakciji u procesima nastave/učenja,
- ▶ razvoj inovativnih programa obuke nastavnika, uključujući metodologiju praktične nastave,
- ▶ primenu najsavremenijih tehnika u nastavnom procesu.

Zahvalnost

Predstavljeni rezultati su deo Erasmus+ projekta pod nazivom „Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans Higher Education Institutions (HEIs) and stakeholders“ (Ref. br. 597888-EPP-1-2018-1-RS- EPPKA2-CB-HE-JP).

LITERATURA

- [1] Filkov, P., 2019. SWARM – Development of water resources management education in the Western Balkans in line with the national and EU policies, *Vodnodelo 3-4*, 39-41.
- [2] Gocic, M., 2020. Water resources management education in the Western Balkan region, *Proceedings of the International conference on water, society and climate change – Part II, WASO 2020, Concluding event of the 7-year Norad-Norhed project, 15th-16th December 2020*, pp. 378-383.
- [3] Gocic, M., Tritthart M., Prinos, Panagiotis, Skoulikaris, C., Djokic, J., Gavrilovic, O., Vojvodic, J., Hadzic, E., Selimotic, M., Sekulic, G., Rajovic, J., Petrovic, M., Jevremovic, Lj., Trajkovic, S., 2021. Strengthening water resources management in the Western Balkans, *Proceedings of the International Symposium „Water Resources Management: New Perspectives and Innovation Practices“*, Novi Sad, Serbia, 23-24 September 2021, pp. 1-9, ISBN 978-86-6022-367-0.
- [4] Karleusa, B., 2019. Aktivnosti na Građevinskom fakultetu u Rijeci u okviru Erasmus+ projekta SWARM, *Hrvatske vode* 110, 371-373.
- [5] Skoulikaris, Ch., Ganoulis, J. 2020. EU and UNESCO Educational Initiatives Integration for Environmental Education on Sustainable Water Resources Management. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Economics and Social Sciences on “Innovative business models to revive the global economy”*, 15-16 October 2020, Bucharest, Romania, pp. 512-521. <https://doi.org/10.2478/9788395815072-052>

3. BH Kongres o vodama / 3rd B&H Water Congress

- [6] Tritthart, M., Gocic, M. 2021. Strengthening Water Resources Management in the Western Balkans - Insights from an Erasmus+ Capacity Building Project. In: Kalinowska, M., Rowinski, P., Okruszko, T., Nones, M. (Eds.), 6th IAHR Europe Congress Abstract Book, 848-849.





OKRUGLI STO / ROUND TABLE

Hidroenergetski potencijal

/

Hidropower potential

Prof. dr. Tarik Kupusović

Institut za hidrotehniku Sarajevo

S. Tomića 1

Tarik.kupusovic@heis.ba

Sa hidroenergijom se može kreirati prilagodljiv vodni i obnovljiv energetski sistem

Klimatske promjene i energetska tranzicija nisu nešto što dolazi tek u budućnosti. One su tu, sa posljedicama koje se očigledne. U isto vrijeme, rat u Ukrajini, te događaji u Evropi i svijetu pokazuju zavisnost svih od fosilnih izvora energije. Domaći ugalj može samo djelimično i kratkotrajno nadomjestiti (pre)skupi plin i naftu. Ostaju vjetar i sunce, koji u svijetu igraju krucijalnu ulogu u rješavanju problema, ali samo djelimično. Kada nema sunca i ne puše vjetar, ostaje hidroenergija, kao jedini siguran i elastičan izvor, kao velika vodna baterija, da popuni „rupe“. Bez nje, energetska tranzicija se usporava, umjesto da se ubrzava. Kao zrela tehnologija, hidroenergija može omogućiti fleksibilno skladištenje za podršku ubrzanom rastu vjetro i solarnih elektrana, da bi se dostigli ciljevi tranzicije od fosilnih goriva. Hidroenergija je dostupna i veoma ekonomična zbog niskih operativnih troškova. Može raditi cijele godine i pokrenuti se praktično trenutno, prema potrebi. Kina, kao najbrže rastuća velika ekonomija, značajno povećava investicije u pumpno reverzibilne hidroelektrane, da bi podržala svoj brzi rast vjetro, solara i hidrogen elektrana. Niko iz sektora obnovljivih izvora energije nije izuzet od uticaja i odgovornosti za okoliš, društvene i upravljačke uticaje. Kao najstariji i najveći obnovljivi izvor, sektor hidroenergije je u prošlosti pravio i mnoge greške. Zato je danas prvi i jedini od obnovljivih tehnologija, koji ima globalni standard za certificiranje održivosti pojedinačnih projekata. Standard hidroenergetske održivosti razvijen je veoma širokom saradnjom svih strana i usaglašen sa standardima Svjetske banke i IFC-a. Dakle, jedina prihvatljiva hidroenergija, danas je održiva hidroenergija.

Investiranje u održivu hidroenergiju, paralelno sa vjetro i solarnim elektranama je dobitna kombinacija. Kreiraju se poslovi i stimulira zelena ekonomija, te podržavaju druge zelene industrije, kao elektromobilost i hidrogen. Treba li pominjati, sve intervencije na vodama moraju ići skupa sa sigurnošću vodosnabdijevanja, te smanjenjem rizika od poplava i suša, uz istovremenu zaštitu vodnih resursa.

(Prevedeno i prilagođeno sa Hydropower.org/WeCan)

Sa hidroenergijom se može kreirati prilagodljiv vodni i obnovljiv energetski sistem

Klimatske promjene i energetska tranzicija nisu nešto što dolazi tek u budućnosti. One su tu, sa posljedicama koje se očigledne. U isto vrijeme, rat u Ukrajini, te događaji u Evropi i svijetu pokazuju zavisnost svih od fosilnih izvora energije. Domaći ugalj može samo djelimično i kratkotrajno nadomjestiti (pre)skupi plin i naftu. Ostaju vjetar i sunce, koji u svijetu igraju krucijalnu ulogu u rješavanju problema, ali samo djelimično. Kada nema sunca i ne puše vjetar, ostaje hidroenergija, kao jedini siguran i elastičan izvor, kao velika vodna baterija, da popuni „rupe“. Bez nje, energetska tranzicija se usporava, umjesto da se ubrzava. Kao zrela tehnologija, hidroenergija može omogućiti fleksibilno skladištenje za podršku ubrzanom rastu vjetro i solarnih elektrana, da bi se dostigli ciljevi tranzicije od fosilnih goriva. Hidroenergija je dostupna i veoma ekonomična zbog niskih operativnih troškova. Može raditi cijele godine i pokrenuti se praktično trenutno, prema potrebi. Kina, kao najbrže rastuća velika ekonomija, značajno povećava investicije u pumpno reverzibilne hidroelektrane, da bi podržala svoj brzi rast vjetro, solara i hidrogen elektrana. Niko iz sektora obnovljivih izvora energije nije izuzet od uticaja i odgovornosti za okoliš, društvene i upravljačke uticaje. Kao najstariji i najveći obnovljivi izvor, sektor hidroenergije je u prošlosti pravio i mnoge greške. Zato je danas prvi i jedini od obnovljivih tehnologija, koji ima globalni standard za certificiranje održivosti pojedinačnih projekata. Standard hidroenergetske održivosti razvijen je veoma širokom saradnjom svih strana i usaglašen sa standardima Svjetske banke i IFC-a. Dakle, jedina prihvatljiva hidroenergija, danas je održiva hidroenergija.

Investiranje u održivu hidroenergiju, paralelno sa vjetro i solarnim elektranama je dobitna kombinacija. Kreiraju se poslovi i stimulira zelena ekonomija, te podržavaju druge zelene industrije, kao elektromobilost i hidrogen. Treba li pominjati, sve intervencije na vodama moraju ići skupa sa sigurnošću vodosnabdijevanja, te smanjenjem rizika od poplava i suša, uz istovremenu zaštitu vodnih resursa.

(Prevedeno i prilagođeno sa Hydropower.org/WeCan)

TREĆI KONGRES O VODAMA BIH SARAJEVO, 11. I 12. MAJ 2022. GODINE

Okrugli sto ENERGETSKO ISKORIŠTENJE HIDROPOTENCIJALA BIH

Prof. dr Tarik Kupusović, dipl. inž. građ.
Institut za hidrotehniku d.d. Sarajevo

– uvodno obraćanje –

(Voda, energija, hrana i okoliš)

Page 1

VODA, ENERGIJA, HRANA I OKOLIŠ

- „Izgradnja hidrosistema „Lim – Zapadna Morava“ bila bi rešenje za sve aktuelniji problem energetske stabilnosti, nezavisnosti i bezbednosti Srbije, uz regulisanje vodotokova, obezbeđenje rezervi pitke vode i podsticanje privrednog razvoja zemlje. - Sada je ideja da se dobri projekti reafirmišu i inoviraju“, rekao je dr Vladimir Šiljkut, savjetnik Vlade Srbije.
- BH izvoz el. energije u prvom kvartalu ove godine bio je 406 miliona KM, (Agencija za statistiku BiH), što je apsolutni poslijeratni rekord. To je za 72 % više nego u istom periodu prošle godine.

Page 2

VODA, ENERGIJA, HRANA I OKOLIŠ

- Energetska tranzicija i klimatske promjene nisu nešto što dolazi tek u budućnosti. One su tu, sa očiglednim posljedicama, najviše na režim voda.
- Rat u Ukrajini, te događaji u Evropi i svijetu pokazuju zavisnost svih od fosilnih izvora energije.
- Kao zrela tehnologija, hidroenergija omogućava fleksibilno skladištenje za podršku ubrzanom rastu vjetro i solarnih elektrana, da bi se dostigli ciljevi tranzicije od fosilnih goriva. Ali,
- Niko iz sektora obnovljivih izvora energije nije izuzet od uticaja i odgovornosti za okoliš.

Page 3

VODA, ENERGIJA, HRANA I OKOLIŠ

- Kao najstariji i najveći obnovljivi izvor, sektor hidroenergije je u prošlosti pravio mnoge greške.
- Jedina prihvatljiva forma hidroenergije je ona održiva.
- Investiranje u održivu hidroenergiju, paralelno sa vjetro i solarnim elektranama je dobitna kombinacija.
- Kreiraju se poslovi i stimulira ekonomija, te podržavaju druge zelene industrije.
- Sve intervencije na vodama moraju ići skupa sa sigurnošću vodosnabdijevanja i navodnjavanja, te smanjenju rizika od poplava i suša, uz istovremenu zaštitu vodnih resursa.

Page 4

VODA, ENERGIJA, HRANA I OKOLIŠ

- **Standard hidroenegetske održivosti** za certificiranje održivosti pojedinačnih projekata, razvijen je nedavno veoma širokom saradnjom svih strana i usaglašen sa standardima EU, Svjetske banke i IFC-a.
- Svaka mjera koja se tiče prirode, na prvom mjestu, prirodno, treba da zadovoljava interese ljudi. Mada se ovakav pristup često kritikuje kao antropocentričan, fokus ljudskih prava je zaštita ličnosti, tako da je i sve ono što se izvodi iz globalnih Ciljeva održivog razvoja UN-a takođe antropocentrično! Naš svijet je antropocentričan!

Page 5

VODA, ENERGIJA, HRANA I OKOLIŠ

- Vode su medij koji spaja i pruža šansu BiH, kao i svim njenim susjedima, za ubrzanim, integralnim razvojem svih društvenih i ekonomskih komponenti;
- U Upitniku i Mišljenju Europske komisije iz 2019, radi ocjenjivanja nivoa dostizanja kriterija za BiH članstvo u EU, vodni resursi su tretirani veoma detaljno;
- Potpitanja i zahtjevi za dodatna objašnjenja formulirani su veoma birokratski, čak i inženjerski: traže se brojevi, procenti, dani, opisi procedura ..., to su u stvari upute za daljnje reforme i prilagođavanja!

Page 6

ŠANSE BIH U OBLASTI VODA

- Naša šansa je u povezivanju hidroenergetike s poljoprivredom, turizmom i okolišem.
- To je veliki izazov, ali hidroiženjeri, energetičari i agronomi, skupa s ekonomistima, ekologistima i poduzetnicima, mogu riješiti taj problem, samo im treba povoljniji politički i pravni ambijent, te uređeniji institucionalni aranžmani!
- Prirodnih resursa, znanja i ljudi (još uvijek) u BiH ima; za dobre poduhvate, novac je danas najmanji problem!

Page 7

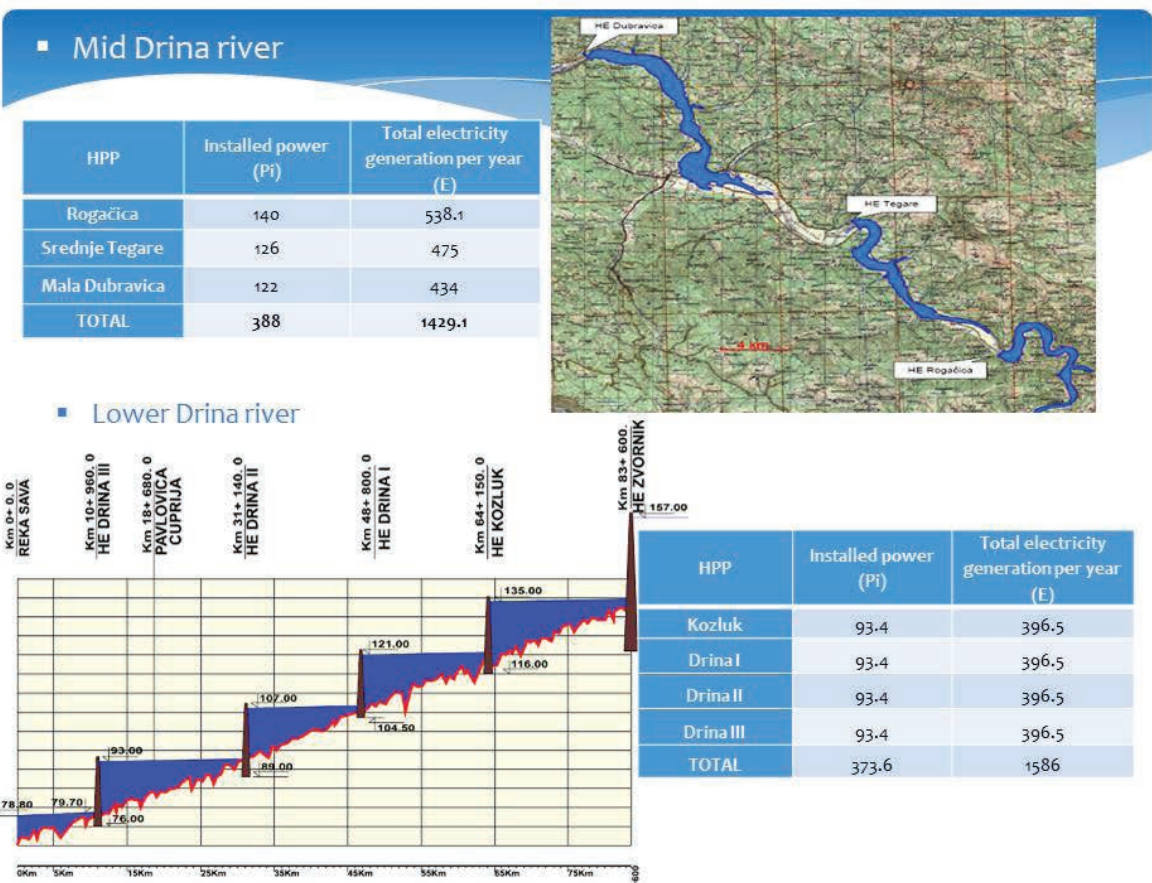
HIDROENERGETSKI POTENCIJALI U BIH

- Ukupni HE potencijal je procijenjen na najmanje 6,500 MW instalisanih kapaciteta (bez reverzibilnih HE);
- Instalirano je nešto preko 2,000 MW – znači nešto iznad 30% potencijala;
- Izgrađeno je 15 (ili 18, zavisno od klasifikacije) velikih i samo nekoliko desetina malih HE;
- Potencijal malih HE je još preko 1.000 MW, ali bi ih trebalo graditi samo kao višenamjenske, na dobrobit lokalne zajednice.

Page 8

HIDROENERGETSKI POTENCIJALI U BIH

- Drina - Gornja, Srednja i Donja;
- Bosna, Vrbas, Una, sa pritokama;
- Gornja Cetina, Gornji Horizonti Trebišnjice i Neretve;
- U BiH će se hidroelektrane sigurno graditi, jer je to ekstra-profitabilno, samo je pitanje kada i kako;
- Ko će imati koristi, a ko štete; čiji je profit?
- Kakva je uloga lokalnih zajednica, kakve su ekonomske, a kakve okolišne, uključujući ekološke reperkusije?



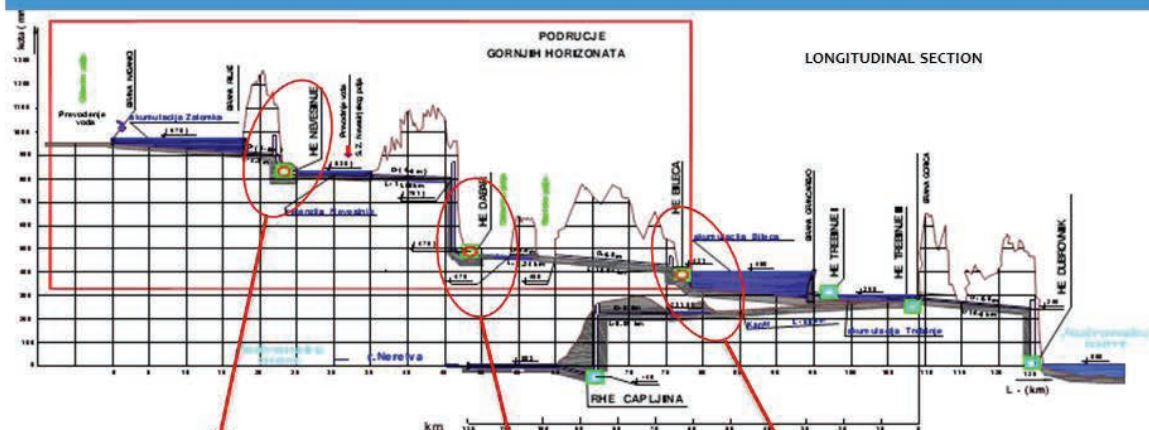
River basin Upper Cetina

PSPP Vrilo - Tomislavgrad	
Location	R. Šuica, Duvanjsko field
Type	Pumped storage
Installed power (Pi)	2x26=52 MW
Total electricity generation per year (E)	95.42 GWh
New Yobs (operation and maintance)	25

PSPP Kabljić-Livno	
Location	Glamočko and Livanjsko field
Type	Pumped storage
Installed power (Pi)	2x26=52 MW
Total electricity generation per year (E)	73.44 GWh
New Yobs (operation and maintance)	25



Hydrosistem Trebišnjica river



HPP Nevesinje	
Location	Nevesinje
Installed power (Pi)	60 MW
Total electricity generation per year (E)	100.6 GWh

HPP Bileća	
Location	Bileća
Installed power (Pi)	33 MW
Total electricity generation per year (E)	116.40 GWh

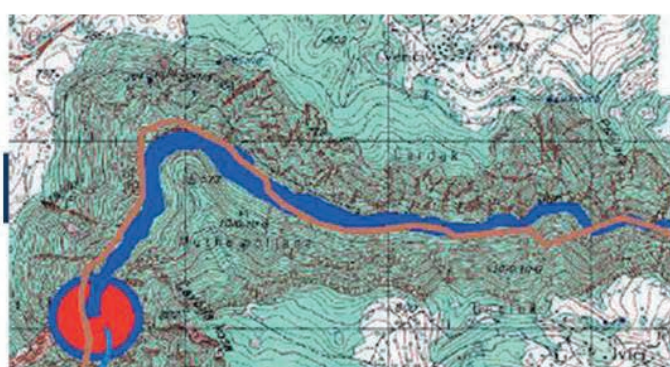
HPP Dabar	
Location	Nevesinjsko polje
Installed power (Pi)	160 MW
Total electricity generation per year (E)	270.6 GWh

▪ River basin Vrbas

HPP Vrletna kosa	
Location	River Ugar, Jajce
Type	Run-of-river
Installed power (Pi)	2x5,6=11.2 MW
Total electricity generation per year (E)	22.538 GWh
New Yobs (operation and maintance)	7



HPP Ivik	
Location	River Ugar, Jajce
Type	Run-of-river
Installed power (Pi)	2x5,6=11.2 MW
Total electricity generation per year (E)	21.883 GWh
New Yobs (operation and maintance)	7



▪ Sana river

HPP Čaplje - Sanski Most	
Location	Čaplje, Sana river
Type	Compensation for HPP Vrhpolje, plant inside dam
Installed power (Pi)	3x4=12 MW
Total electricity generation per year (E)	56.8 GWh
New Yobs (operation and maintance)	15

HPP Vrhpolje - Sanski Most	
Location	Vrhpolje, Sana river
Type	Peak, plant inside dam
Installed power (Pi)	79.4 MW
Total electricity generation per year (E)	157.5 GWh
New Yobs (operation and maintance)	60

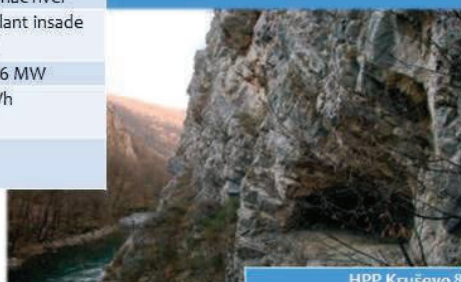
▪ Vrbas river

HPP Vinac - Jajce	
Location	Vinac, Vrbas river
Type	Run-of-river
Installed power (Pi)	11.5 MW
Total electricity generation per year (E)	61.3 GWh
New Yobs (operation and maintance)	15

HPP Babino Selo - Donji Vakuf	
Location	Vinac, Vrbas river
Type	Run-of-river
Installed power (Pi)	11.5 MW
Total electricity generation per year (E)	59.9 GWh
New Yobs (operation and maintance)	15

Unac river

HPP Unac- Martin Brod	
Location	Martin Brod, Unac river
Type	Accumulation, plant inside dam
Installed power (Pi)	2x36.8=73.6 MW
Total electricity generation per year (E)	259 GWh
New Jobs (operation and maintenance)	35



Bioštica river

HPP Kruševo & HPP Zeleni Vir - Olovo	
Location	Olovo, Bioštica river
Type	Accumulation, diversion
Installed power (Pi)	9.75+2.13 MW
Total electricity generation per year (E)	21.72+8.40 GWh
New Jobs (operation and maintenance)	20

Bosna river

HPP Vranduk - Zenica	
Location	Vranduk, Bosna river
Type	Run-of-river, diversion
Installed power (Pi)	19.56 MW
Total electricity generation per year (E)	96.38 GWh
New Jobs (operation and maintenance)	20



ŠANSE BIH U OBLASTI HIDROENERGETIKE

- Nama u BiH najvažnije je saradivati sa susjedima i regijom, pa onda šire, te se nipošto ne ponašati samodopadno (mi smo najpametniji) ili kao žrtve (mi zaslužujemo nešto više od drugih, zbog toga što smo najveće žrtve prošloga rata).
- Prošlost jeste važna, i stvari treba postupno i konačno raščićavati, ali se u sadašnjosti radi za budućnost, pa ćemo, akobogda, već u narednih nekoliko godina živjeti mnogo bolje i sretnije.

Hvala

Trenutna saznanja
o tehnički iskoristivom
hidroenergetskom potencijalu u
BiH i plan njegovog korištenja

/

Current knowledge
on the usable hydropower
potential in B&H and
the plan for its use

BiH raspolaže sa velikim hidropotencijalom i vodnim resursima koji su pogodni za iskorišćenje prvenstveno u proizvodnji električne energije.

Proizvodnja električne energije u hidroelektranama počela je za vrijeme Austrougarske uprave u BiH još devedesetih godina 19 stoljeća i početkom dvadesetog stoljeća.

Intenzivna gradnja hidroelektrana u BiH odvijala se poslije drugog svjetskog rata do pred kraj devedesetih godina odnosno do 1987. godine kada su puštene u rad HE Višegrad i HE Mostar.

Za uspješno projektovanje i gradnju HE prvi preduslov je mjerenje hidrologije, količine padavina u pojedinim područjima, bilansi oticanja vode i procjena tehnički iskoristivog hidropotencijala u BiH.

Prve hidrološke stanice u BiH su postavljene još 1880.g. i do danas se u Hidrometeorološkom zavodu BiH vode i obrađuju ovi podaci neophodni u planiranju iskorišćenja hidropotencijala.

U razdoblju 1883-2007. godine, na području BiH postojalo je cca 400 hidroloških stanica.

1. Slivna područja Bosne i Hercegovine

Sliv	Površina sliva (km ²)	Dužina vodotoka dužih od 10 km	Prosječni proticaj (m ³ /s)	Biološki minimum (m ³ /s)
Neposredni sliv Save u BiH	5506	1693,2	63	1,5
Una u BiH	9130	1480,7	240	41,9
Vrbas	6386	1096,3	132	26,3
Bosna	10457	2321,9	163	24,2
Drina u BiH	7240	1355,6	124	24,1
SLIV CRNOG MORA	38719	7947,7	722	118,0
Neretva i Trebišnjica	10110	886,8	369	56,5
Cetina u BiH	2300	177,0	31	1,8
SLIV JADRANSKOG MORA	12478	1063,8	400	58,3
BiH	51197	9011,5	1125	176,3

2. Karakteristični pokazatelji za osnovna slivna područja BiH

Na teritoriju BiH godišnje padne oko 1160 l/m² kiše što, obzirom na površinu BiH koja iznosi 51197 km², daje ukupnu zapreminu oborinskih voda od 64 x 10⁹ m³ vode, odnosno 2030 m³/s. Sa teritorije BiH, bez tranzitnih međurepubličkih proticaja, otječe 1125 m³/s ili u prosjeku 57% od ukupne pale količine vode. Međutim, te količine vode nisu ravnomjerno, ni prostorno, ni vremenski raspoređene.

Otjecanje voda u BiH vrši se u pravcu crnomorskog sliva sa oko 76% površine BiH i u pravcu Jadranskog mora sa oko 24% površine. Od ukupne količine vode koja otječe sa teritorije BiH, 722 m³/s ili 62,5% otječe Savom, a 400 m³/s ili 37,5% prema Jadranskom moru.

SLIV	POVRŠINA (km ²)	PROSJEČNE PADAVINE (mm)
Rijeka Sava	38.719	1003
Jadransko more	12.478	1680
UKUPNO	51.197	1160



3. Iskorištenje hidropotencijala u BiH

Na osnovu analize po slivovima procijenjeno je da ukupni hidroenergetski potencijal BiH iznosi 6126 MW i 22,05 TWh. Ovaj potencijal svrstava našu državu na osmo mjesto u Evropi (iza Norveške, Francuske, Italije, Švedske, Švicarske i Austrije).

Po stepenu iskorištenosti našeg hidropotencijala od 40% naša zemlja je ubjedljivo na posljednjem mjestu u Evropi (Francuska 96%, Švicarska 91%, Njemačka 85% ...).

U okolnostima evropske energetske krize naša inertnost i sporost u stavljanju ovog bogatstva u funkciju je izvan razumnih i opravdanih razloga.

Dokaz za ovo je da je jedan od najvećih razvojnih potencijala BiH – Izgradnja hidroelektrana

je potpuno zapostavljena. U FBiH od 1987. godine izgrađena je samo HE Mostarsko Blato kapaciteta 60 MW i puštena u probni rad 2010. godine

Najava izgradnje HE na Neretvi, Bosni, Vrbasu, Drini itd., još uvijek su samo najave ali još nema izgradnje.

Posebna priča su male HE. U BiH postoji izuzetno mnogo, pogodnih lokacija, i na cca 1500 vodotokova moguće je realno izgraditi 800 – 1000 MHE.

Do sada je u FBiH izgrađeno 72 MHE ukupne

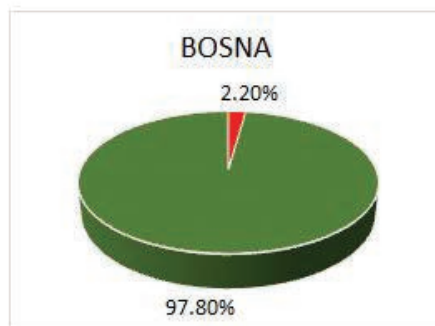
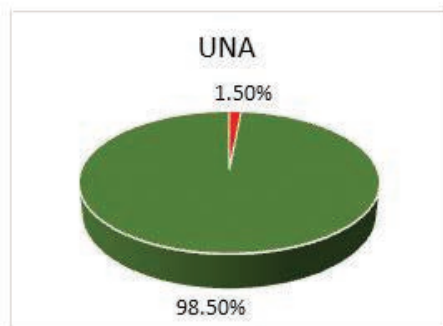
snage cca 102 MW i predviđene proizvodnje cca 420 GWh.

U RS je izgrađeno 50 MHE ukupne snage cca 93 MW, predviđene godišnje proizvodnje cca 398 GWh.

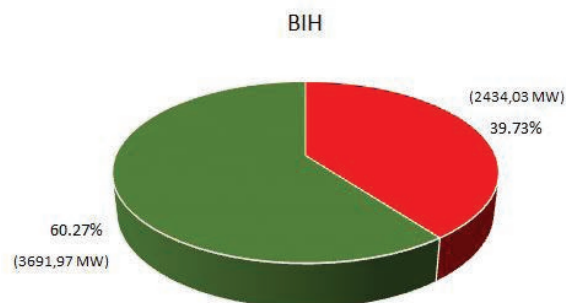
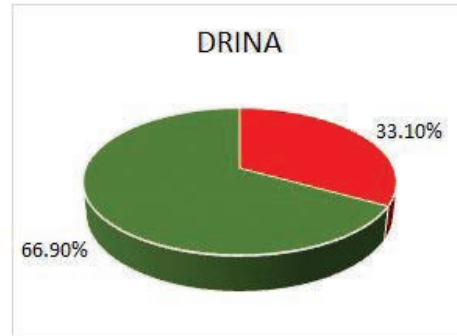
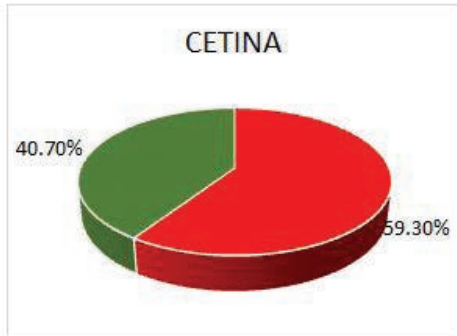
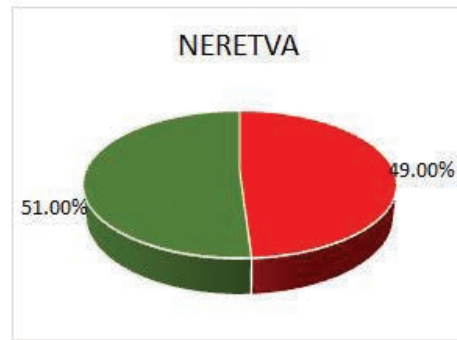
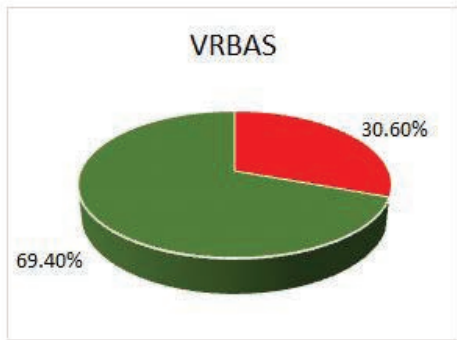
Opravdanja tipa „zaštita životne sredine“ i „turistička perspektiva“ su stručno, ekonomski i sociološki neodržive (Švicarska, Francuska, Austrija).

4. Koeficijenti iskorištenja

Red. br.	Sliv	Raspoloživa snaga	Srednja god. proizvodnja	Koeficijent iskorištenja(%)		
		Ni	Eg	Ni		Eg
		(MW)	(GWh)	(%)		(%)
1.	Una	392,1	1566,7	1,5	98,5	1,7
2.	Vrbaš	616,9	2427,5	30,6	69,4	28,5
3.	Bosna	365,8	1593,6	2,2	97,8	2,9
4.	Drina	1838,6	7107,7	33,1	66,9	37,1
5.	Sava	55,6	283,1	0,0	100,0	0,0
6.	Cetina	197,0	594,4	59,3	40,7	71,5
7.	Neretva	1548,0	5048,2	48,9	52,0	58,1
8.	Trebišnjica	1112,4	3429,5	66,7	33,3	67,1
	BiH	6126,33	22050,59	38,75	61,3	40,36



3. BH Kongres o vodama / 3rd B&H Water Congress



5. Tabelarni pregled hidroelektrana u pogonu

	Sliv	Vodotok	Red. br. postr.	Naziv HE	Instal. snaga Ni	Srednja godišnja proizvod. Eg	Potencijal sliva		Iskorištenost potencijala		God. pušt. u pog.
							Ni	Eg	Ni	Eg	
					(MW)	(GWh)	(MW)	(GWh)	(%)	(%)	
1	Una	Una	HP5	Slapovi na Uni	6,0	27,4					1953
Ukupno:					6,0	27,4	392,1	1556,7	1,5	1,7	
2	Vrbas	Vrbas	HP39	Jajce II	27,0	170,0					1954
			HP40	Bočac	110,0	307,0					1981
			Pliva	HP070	Jajce I	51,9	216,9				
Ukupno:					188,93	693,9	616,89	2427,47	30,6	28,5	
3	Bosna	Željeznica	HP104	Bogatići	8,0	46,5					1948
		Vodovod Sarajevo	HP121	Hrid	0,3	0,7					1917
Ukupno:					8,3	47,2	365,78	1593,6	2,2	2,9	
4	Drina	Drina	HP127	Višegrad	315,0	1120,0					1989
			HP128	Bajina bašta *	241,2	1221,4					1965
			HP139	Zvornik *	47,8	262,4					1954
		Prača	HP141	Mesići	3,0	16,0					1950
		Jadar	HP150	Vlasenica	0,9	6,9					1950
		Tišća	HP151	Tišća	1,2	8,6					1990
Ukupno:					609,1	2635,3	1838,6	7107,66	33,12	37,07	
5	Sava						55,55	283,05	0,0	0,0	
6	Cetina	V.Liv.p	HP225	Orlovac *	117,0	425,0					1974
			Ukupno:					117,0	425,0	197,00	594,40
7	Neretva	Neretva	HP228	Jablanica	150,0	792,0					1955
			HP230	Grabovica	113,0	345,0					1982
			HP231	Salakovac	210,0	590,0					1982
			HP232	Mostar	64,5	310,0					1987
		Rama	HP236	Rama	160,0	731,0					1968
				Mostarsko blato	60,0	167,0					
Ukupno:					757,5	2935,0	1548,0	5048,21	48,9	58,1	
8	Trebišnjica	Trebišnjica	HP254	Trebinje I	156,2	445,0					1968
			HP255	Trebinje II	7,0	18,0					1981
			HP256	Dibrovnik I *	164,0	1220,0					1965
			HP258	Čapljina	420,0	620,0					1979
Ukupno:					747,2	2303,0	1112,4	3429,50	66,7	67,1	
SVEUKUPNO:					2434,03	9066,8	6126,3	22050,59	39,73	41,11	

* Zajednički objekti sa susjednim državama

6. Razlozi spore gradnje HE i MHE:

- ▶ Komplikovani propisi i procedure izdavanje koncesije i u sklopu toga pribavljanje raznih dokumenata i odluka te dozvola za građenje;
- ▶ Sukob interesa između raznih nivoa vlasti. Koncesije za MHE izdaju Kantoni (i ubiru prihod) a dozvole za gradnju izdaje općina na čijoj teritoriji se gradi MHE (i ne vide svoj interes u tome);
- ▶ Preklapanje nadležnosti između FBiH, Kantona i Općine;
- ▶ Neusaglašena razna Zakonska rješenja kojih se investitori moraju pridržavati;
- ▶ Investitoru treba za izgradnju MHE godina dana, a za dobijanje svih saglasnosti i dozvola oko 4 godine;
- ▶ Mnogi strani investitori su odustali od najave gradnje HE i otišli u druge države;
- ▶ Nepostojanje validnih studija i projekata u ovoj oblasti. Postojeće studije su rađene prije više decenija i više nisu aktuelne. U međuvremenu je došlo do značajnih promjena u prostoru i na vodotocima;

- ▶ Razna udruženja koja sebe nazivaju "ekološka" kao i pojedinci bez validne argumentacije napadaju izgradnju HE pod plaštom zaštite okoline. Dobro bi bilo da kažu kakva je zaštita okoline kod drugih načina proizvodnje električne energije koju oni sada koriste.

7. Važnost korištenja hidropotencijala u BiH u cilju obezbjeđenja energetske sigurnosti i zaštite okoline

Hidroenergetske objekte je apsolutno moguće uklopiti u životnu sredinu, bez bitnih štetnih uticaja na kvalitet iste. Moguća su čak i rješenja koja podižu kvalitet životnog prostora.

Izrazite prednosti hidroelektrana u pogonskom aspektu daju nezamjenljiv stepen pogonske sigurnosti energetske sistema.

Obezbuđenje redistribucije voda u vremenu, odnosno izravnavanje voda (akumulacije). Obezbuđenje skladištenja energije za podršku ubrzanom rastu vjetra i solarne energije. Ovo je ujedno i najveća mogućnost da bi se postigli ciljevi tranzicije od fosilnih goriva.

Izgradnja malih hidroelektrana ima izuzetno pozitivnu ulogu zbog pogonskih potreba vezanih za korištenje energije vjetra i sunca (dokazani potencijali BiH). Mogućnost izgradnje pumpnih reverzibilnih hidroelektrana, spregnutih sa termoelektranama ili vjetroenergetskim i solarnim postrojenjima, predstavlja posebnu energetske pogodnost, imajući u vidu da iste proizvode vršnu energiju.

Hidroenergetska postrojenja (akumulacije) omogućavaju razvoj i mnogih drugih privrednih aktivnosti, poljoprivreda, navodnjavanje, vodosnabdijevanje, turizam, sport itd.

U okolnostima sveopće energetske krize i imperativnih zahtjeva za tranziciju korištenja energenata u skladu sa ekološkim propisima, nalazimo se u vremenu i prostoru kada je postalo upitno sigurno snabdijevanje stanovništva i privrede električnom energijom u BiH. Zbog toga je od izuzetne važnosti pokrenuti sve neophodne aktivnosti za stavljanje u funkciju raspoloživi, a neiskorišteni hidropotencijal u BiH.

8. Plan korištenja hidropotencijala (prijedlog zaključaka sa 3. Kongresa o vodama BiH)

Da bi se stavio u funkciju preostali hidropotencijal BiH i aktivirao preostali neiskorišteni resurs u ovoj oblasti neophodno je poduzeti sljedeće korake:

1. Zbog nepostojanja validnih studija i projekata u ovoj oblasti treba uputiti zahtjev Vladi FBiH da se pristupi izradi sveobuhvatne studije potencijalnih mogućnosti izgradnje HE i MHE na svim slivovima u BiH uz razvrstavanje svih prostora i vodotokova u tri osnovne kategorije
 - ▶ Prostori i lokacije gdje nije moguće graditi hidropostrojenja
 - ▶ Prostori i lokacije gdje je moguća gradnja uz primjenu posebnih uslova zaštite okoline
 - ▶ Prostori i lokacije gdje je moguće slobodno graditi ove objekte bez posebnih ograničenja.
2. Navedena studija mora biti bazirana na najnovijim hidrološkim mjerenjima da bi se mogli odrediti osnovni parametri budućih hidropostrojenja.

Studija mora dati odgovore na moguće prostorne lokacije, tehničke mogućnosti iskoristivosti hidropotencijala kao i procjene ekonomske isplativosti gradnje.

Nadležne državne institucije moraju izvršiti verifikaciju ove studije i njene rezultate unijeti u prostorne planove.

2. Sve investicije i intervencije na vodama moraju ići skupa sa sigurnošću vodosnabdijevanja, smanjenja rizika od poplava i suša, uz istovremenu zaštitu vodnih resursa.
3. Uputiti zahtjev Vladi BiH, FBiH i RS, da se posvete usaglašavanju zakonskih rješenja procedura kao i u boljoj raspodjeli prihoda sa lokalnom zajednicom, odnosno stimulacija lokalne zajednice radi pospješenja izgradnje HE,
4. Bolja prezentacija i pravilno informisanje građana o sveopćoj dobrobiti iskorištenja hidropotencijala u BiH.

Uloga hidroelektrana
u ublažavanja uticaja klimatskih
promjena i u procesu
energetske tranzicije

/

The role of hydropower plants
in the process of mitigating
the effects of climate change
and energy transition

Slobodan Kovačina, dipl. ing.

ENCOS d.o.o. Energy Consulting Services
encos@bih.net.ba

Značajan izazov savremenog društva su klimatske promjene, prouzrokovane anormalnim globalnim zagrijavanjem planete Zemlje. Naime, poznato je da energija sunca izaziva fenomen koji nazivamo prirodnim efektom staklene bašte: sunčevi zraci koji prolaze kroz atmosferu dijelom se apsorbiraju kopnom i morem, a dijelom se odbijaju da bi bili zarobljeni gasovima ugljen dioksida, metana i vodene pare, zadržavajući toplotu Sunca.

Bez prirodnog efekta staklene bašte, prosječna temperatura na planeti bi bila oko $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, a ne približno $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, što je blagodat koja omogućava normalan život na Zemlji.

Međutim, kao rezultat ljudskih aktivnosti u posljednjih 150 godina, došlo je do dodatnog globalnog zagrijavanja, što zovemo antropogeni efekat staklene bašte. Prema agenciji NASA, u 2019. godini prosječna temperatura planete bila je $0,98\text{ }^{\circ}\text{C}$ viša od predindustrijskog nivoa, a trend povećanja ukazuje na to da bi, ukoliko se ne preduzmu odgovarajuće mjere, mogla dostići $+1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ već u četvrtoj deceniji ovoga stoljeća.

Emisije stakleničkih gasova (GHG) uzrokovane ljudskim aktivnostima mijenjaju energetske i klimatske obrasce naše planete. Uticaji globalnog zagrijavanja su već sada očigledni: arktički morski led se smanjuje za $12,85\%$ svake decenije, nivo mora se povećava svake

godine za $3,3\text{ mm}$ (od 1870.), 2016. godina je rekordno najtoplija godina do sada, sezone požara su postale duže i intenzivnije, dok je od 1990. godine povećana učestalost ekstremnih vremenskih pojava (cikloni i poplave se dešavaju u netipičnim trenucima godine, sa razornim nivoima intenziteta, pojave poput El Ninja postale su nepravilnije, Golfska struja usporava i mogla bi promijeniti rutu, biljne i životinjske vrste migriraju na nepredvidive načine iz jednog ekosistema u drugi, stvarajući neprocjenjivu štetu biodiverzitetu, itd.).

Sve ovo definišemo terminom klimatske promjene, što ne daje potpunu sliku onoga što se dešava zato što se klima uvijek mijenjala, ali nikad tako brzo i nikada u prisustvu tako složene infrastrukture.

1. Energetska tranzicija i obnovljivi izvori energije

1.1. Klimatske promjene i energetska tranzicija

Međunarodni politički odgovor na globalne emisije stakleničkih plinova i klimatske promjene započeo je 1992.godine, konstituisanjem *Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o klimatskim promjenama* (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC), koja je postavila pravni okvir za stabilizaciju atmosferskih koncentracija stakleničkih plinova kako bi se izbjeglo opasno antropogeno uplitanje u klimatski sistem. Na konferencijama UNFCCC-a, u Parizu 2015. (COP 21) i Glazgovu 2021. (COP 26), međunarodni predstavnici usvojili su sporazum, koji pruža kredibilan okvir za postizanje dekarbonizacije, s dugoročnim ciljevima za borbu protiv klimatskih promjena. Kao primarni cilj istaknuto je ograničavanje zagrijavanja na 1,5^oC do 2050.godine.

Na konferencijama UNFCCC-a postignut je opšti konsenzus o tome da globalni energetski sektor drži ključ u vezi sa ublažavanjem emisija stakleničkih plinova, zato što je odgovoran za oko dvije trećine globalnih emisija stakleničkih plinova, iznos koji se povećava bržom stopom nego u bilo kojem drugom sektoru. U cilju promjene dosadašnje paradigme u sektoru proizvodnje električne energije, istaknut je prioritetni razvoj **održivih** ili **obnovljivih izvora energije**, prije svega solarne energije, energije vjetra, geotermalne energije, bioenergije i hidroenergije, odnosno prelazak sa energetskih izvora zasnovanih na fosilnim gorivima na one sa nultom emisijom ugljika. Put koji vodi do ostvarivanja postavljenog cilja je jasan i poznat kao **energetska tranzicija**.

1.2. Šta su to obnovljivi izvori energije?

Obnovljivi izvor energije podrazumjeva energiju koja je održiva - nešto što se obnavlja, nešto što ne može da nestane ili je beskrajno, poput sunca. Kada se čuje izraz „alternativna energija“, to se obično odnosi na obnovljive izvore energije koji su alternativa najčešće korištenim neodrživim izvorima - poput fosilnih goriva.

Postoji niz obnovljivih izvora energije, a glavni su: solarna energija, energija vjetra, hidroenergija, energija plime, geotermalna energija i energija biomase. Električna energija proizvedena u nuklearnoj elektrani nije obnovljiva, ali njena proizvodnja emituje niske nivoe CO₂, baš kao i obnovljivi izvori energije. Obzirom da predstavlja stabilan izvor energije, vjerovatno će kao prelazno rješenje igrati veliku ulogu na putu koji vodi do konačnog cilja energetske tranzicije.

Čista energija je energija koja dolazi iz obnovljivih izvora, a koja ne zagađuje atmosferu kada se koristi, kao i energija uštedena mjerama energetske efikasnosti. Postoji određeni stepen ukrštanja između čiste energije i obnovljivih izvora energije, ali oni nisu potpuno isti. Svi čisti izvori energije su po definiciji „čisti“, međutim nisu svi obnovljivi izvori energije čisti. Na primjer, sagorijevanje drvene šumske mase je obnovljivo, ali nije čisto jer se time oslobađa ugljen dioksid u atmosferu. Energetski izvori kao što su solarna energija i energija vjetra, smatraju se istinski čistim i obnovljivim.

Zelena energija dolazi takođe iz obnovljivih izvora. Pruža najveću ekološku korist i uključuje energiju proizvedenu iz solarne energije, vjetra, geotermalne energije, bioplina, hidroelektrana niskog uticaja i samo određenih prihvatljivih izvora biomase.

1.3. Koji su izazovi korištenja obnovljivih izvora energije?

Kad se govori o obnovljivim izvorima energije, prije svega onih iz solarnih i vjetro elektrana, osnovni problem je njihova varijabilnost i nepredvidivost. Dok se kod hidroelektrana proizvodnja može prognozirati za naredni dan ili više narednih dana, kod solarnih elektrana često to nije moguće, dok kod vjetro elektrana nije to moguće ni na satnom nivou. Zato se smatra da solarna i vjetro energija nije dispečibilna (upravljiva) i da se mogu koristiti samo ukoliko su „oslonjeni“ na neko skladište energije. Osim toga, varijabilnost proizvodnje solarnih i vjetro elektrana je ne samo dnevna, već i sezonska. To postavlja veće zahtjeve za zapreminom skladišta energije.

1.4. Može li čista energija zamjeniti fosilna goriva?

To je moguće, ali postupno i uz određene uslove kako bi zadovoljila globalne zahtjeve za električnom energijom. Budući da je vjetro i solarna energija varijabilna, njihovo uključivanje u elektro energetske sistem moguće je sve dok postojeći izvori energije omogućavaju balansiranje sistema. Međutim, značajnije povećanje učešća obnovljivih izvora u elektro energetskom sistemu moguće je izbalansirati samo efikasnim skladištenjem obnovljive energije, da bi se mogla koristiti kada to potražnja zahtjeva. Dakle, na putu procesa energetske tranzicije, kao uslov za postizanje cilja dekarbonizacije do 2050.godine, najveći izazov je kako efikasno i racionalno obezbjediti skladištenje energije, obzirom da se električna energija može skladištiti samo nakon konverzije u druge oblike energije, što zahtijeva skupu opremu i gubitke energije.

Od otkrića električne energije tražile su se efikasne metode za skladištenje te energije da bi se koristila na zahtjev potrošača bez ikakvih ograničenja. Tokom prošlog stoljeća,

tehnologija skladištenja energije nastavila je da se razvija, prilagođava i inovira kao odgovor na sve izraženiju varijabilnost potrošnje i napredak u tehnologiji.

Pumpna hidroelektrana, kod koje se višak električne energije koristi za pumpanje vode iz donjeg u gornji rezervoar, pojavila se kao prva komercijalno održiva opcija za skladištenje električne energije. Ovo je najčešći tip skladištenja energije na nivou elektroenergetskih mreža, zasnovan na megavatima instalirane snage. Ostale tehnologije skladištenja su još uvijek u demonstracionim ili predkomercijalnim fazama, a najvažnije su:

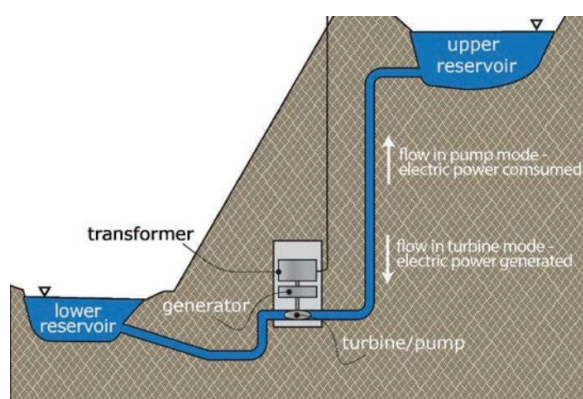
- ▶ Skladišta energije komprimiranog zraka
- ▶ Baterije – niz rješenja za elektrohemijsko skladištenje, uključujući napredne hemijske baterije, protočne baterije i kondenzatore,
- ▶ Skladišta toplotne energije
- ▶ Mehaničko skladištenje energije – tehnologije za iskorištavanje kinetičke ili gravitacione energije

Snaga i trajanje skladištenja su dvije ključne varijable u određivanju najprikladnijeg rješenja. Kratkotrajno skladištenje male snage trenutno je isplativije korištenjem baterija, ali duži periodi i veće potrebe za energijom će se vjerovatno oslanjati na veće mogućnosti skladištenja, kao što su pumpne i konvencionalne akumulacione hidroelektrane.

Podstaknuti zahtjevima energetske tranzicije, brojni stručnjaci i inovatori intezivno rade na usavršavanju tehnologije skladištenja električne energije, Najveće šanse imaju tehnička rješenja sa baterijama i vodonikom, ali se radi o tehnologijama koje su još uvijek skupe i ograničenog kapaciteta.

2. Uloga pumpnih hidroelektrana (PHE) u procesu energetske tranzicije

Pumpna hidroelektrana skladišti energiju u obliku vode u gornjem akumulacionom bazenu, koja je prethodno pumpanjem transportovana iz drugog akumulacionog bazena na nižoj nadmorskoj visini.



Slika 1. Šema pumpne hidroelektrane

Tokom perioda niske potražnje gornji akumulacioni bazen se puni, a u periodima velike potražnje za električnom energijom, energija se proizvodi ispuštanjem uskladištene vode kroz turbine na isti način kao i kod konvencionalne hidroelektrane. To omogućavaju reverzibilni sklopovi pumpa-turbina/motor-generator, koji funkcionišu i kao pumpe i kao turbine. Pumpne hidroelektrane se razlikuju od tradicionalnih hidroelektrana po tome što su neto potrošači električne energije, zbog hidrauličnih i električnih gubitaka koji nastaju u ciklusu pumpanja iz donjih u gornje akumulacione bazene. Međutim, ova postrojenja su tipično visoko efikasna (efikasnost povratnog ciklusa prelazi i 80%) i mogu se pokazati vrlo korisnim u smislu balansiranja opterećenja unutar cjelokupnog elektroenergetskog sistema zbog sposobnosti da odgovore na potencijalno velike promjene električnog opterećenja u roku od nekoliko sekundi. Pumpne hidroelektrane su se historijski koristile za balansiranje opterećenja sistema, omogućavajući velikim nuklearnim ili termalnim izvorima da rade sa

vršnom efikasnošću.

U procesu energetske tranzicije, kad varijabilni obnovljivi energetske izvori preuzimaju dominantnu ulogu u elektroenergetskom sistemu, odnosno kad skladištenje energije nije više poželjni nego ograničavajući faktor stabilnosti sistema, uloga pumpnih hidroelektrana ima sve veći značaj, prije svega zbog sposobnosti da za samo nekoliko sekundi odgovori na potencijalno velike promjene opterećenja sistema.

Pumpne hidroelektrane takođe pružaju pomoćne prednosti kao što su reaktivna snaga, mogućnost crnog starta i rotirajuća rezerva. U režimu proizvodnje, turbinski generatori mogu vrlo brzo reagovati na odstupanja frekvencije, čime se doprinosi ukupnoj ravnoteži i stabilnosti mreže. I u turbinskom i u pumpnom režimu, pobuda generatora i motora može se mijenjati kako bi doprinosila opterećenju reaktivne snage i stabilizirala napon. Kada nisu ni u turbinskom ni u pumpnom radu, agregati mogu da rade u režimu sinhronog kondenzatora, ili mogu da rade da bi obezbjedili rotirajuću rezervu, pružajući mogućnost brzog podizanja opterećenja ili balansiranja viška proizvodnje. Možda i najvažniji značaj PHE je u kratkom manipulativnom vremenu: pumpni generatori u turbinski ili pumpni rad mogu startovati za 20 do 90 sekundi, maksimalnu snagu postići za 120 sekundi, a promjena jednog ciklusa (prelazak sa pumpnog na turbinski režim rada ili obrnuto) može da traje oko 180 sekundi.

3. Uloga vodnih akumulacija u ublažavanju negativnog uticaja klimatskih promjena

Klimatske promjene su u interakciji sa hidrološkim ciklusom, što rezultira promjenama u padavinama i varijabilnosti riječnih proticaja. Ove promjene će imati uticaja na vodosnabdijevanje, poplave, suše i proizvod-

nju hidroenergije, a posebno na vremensku nepravilnost i neravnomjernu geografsku raspodjelu vodnih resursa. Međutim, analize osjetljivosti na klimatske promjene u uređenim slivovima pokazuju da su „uređeni“ slivovi sa velikim akumulacionim kapacitetom otporniji od nereguliranih slivova, odnosno da *akumulacije* djeluje kao *tampon protiv klimatskih promjena*. Stoga, s obzirom na trenutne okolnosti u pogledu aktivnosti oko ublažavanja posljedica klimatskih promjena i procesa energetske tranzicije, povećanje kapaciteta za skladištenje voda predstavlja veliki imperativ, posebno višenamjenskih akumulacija.

Sa aspekta vodosnabdjevanja stanovništva, što je vitalni interes svakog društva, efikasno i racionalno korištenje raspoloživih vodnih resursa moguće je samo do određenog stepena obezbjeđenosti. Kad se iscrpe te mogućnosti, preostaje nam da preduzimanjem određenih mjera i aktivnosti utičemo na preraspodjelu voda, kako bi se njihova raspoloživost što više uskladila s prostornom i vremenskom raspodjelom potreba. Te se mjere ogledaju u uređenju vodnog režima što podrazumjeva:

- ▶ Akumuliranje voda čime se postiže vremenska preraspodjela voda;
- ▶ Transport voda iz područja gdje su raspoložive količine veće od potreba u područje gdje postoji deficit, što je u biti prostorna preraspodjela voda.

U oba slučaja nameće se potreba izgradnje brana i formiranje vodnih akumulacija koje mogu biti jednonamjenske (obično za energetiku ili vodosnabdjevanje) ili višenamjenske.

4. Akumulacione hidroelektrane i hibridni energetske sistemi

Stručna javnost je saglasna: probleme energetike u budućnosti nije moguće rješavati „prošlim rješenjima“. Iscrpljene su spoznaje

o konvencionalnim izvorima, a način korišćenja dobio tradicionalne odlike. Zato su praktično inovacije moguće samo u domenu hibridnih rješenja. Takve ideje su podstaknute uključivanjem obnovljivih izvora energije, prije svega solarne i vjetro energije, nastojeći da se problem njihove varijabilnosti kompezira u sinergiji sa tradicionalnim energetske izvorima.

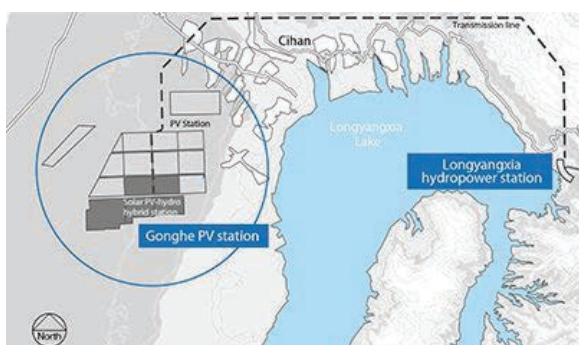
U praksi su već provjerena tehnička rješenja kao što su hidro-solarni sistemi, odnosno instaliranje solarnih fotonaponskih (PV) panela neposredno uz hidroelektranu, kako bi se na racionalan način obezbjedio potreban prostor i pristupni put, smanjili troškovi održavanja i priključka na mrežu. Postoji više mogućnosti lokacije PV panela:

1. PV paneli se montiraju na konstrukciji koja pliva na površini akumulacije, tzv. plivajući fotonaponski sistemi ili „Floating PV“, skraćeno FPV. Na taj način solarna elektrana i hidroelektrana koriste istu infrastrukturu, energetski se dopunjuju, a postoje i prateći pozitivni efekti:
 - povećana efikasnost fotonaponskih modula zbog stalnog hlađenja vodom,
 - zbog zasjenjivanja poboljšava se kvalitet vode u akumulaciji,
 - smanjuje se ispravljanje vode u akumulaciji,
 - smanjeno prljanje panela
2. PV paneli se montiraju na obali akumulacije, u blizini mašinske zgrade, U ovom slučaju solarna elektrana i hidroelektrana koriste istu infrastrukturu i energetski se dopunjuju.
3. PV paneli se montiraju na tijelu brane. U ovom slučaju solarna elektrana i hidroelektrana koriste

istu infrastrukturu, energetski se dopunjuju, a zasjenjivanjem betonske površine brane smanjuju se negativni temperaturni uticaji na branu.



Slika 2. Plutajući solarni paneli (FPV)



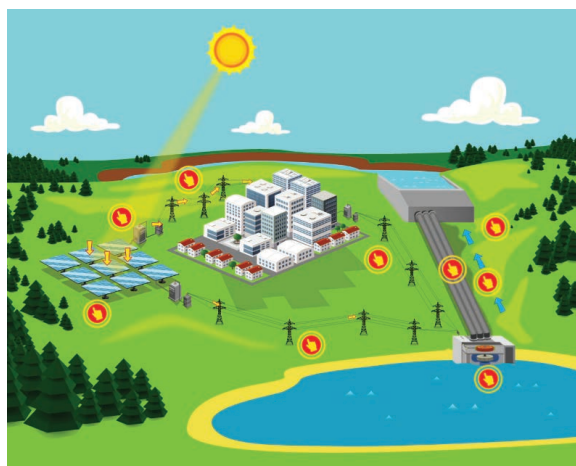
Slika 3. PV paneli na zemlji



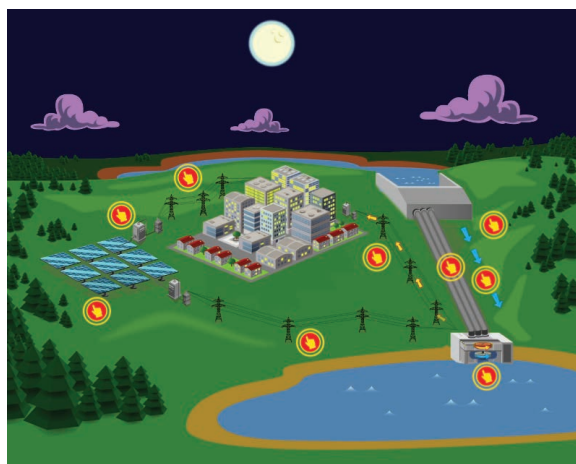
Slika 4. PV paneli na tijelu brane

Za razliku od hibridnog funkcionisanja solarne i konvencionalne akumulacione hidroelektrane, koje međusobno povezuje uglavnom samo infrastruktura, solarne i pumpne hidroelektrane (PHE) su međusobno i funkcionalno povezane. U ovom slučaju PHE radi u pumpnom režimu, koristeći solarnu energiju u vrijeme kad njena proizvodnja premašuje potražnju, a u turbinskom režimu kada solarna elektrana ne može zadovoljiti potrebe

sistema. Ovakvi hibridni sistemi mogu uključivati i vjetro elektrane, ili se kombinuju samo PHE i vjetro elektrane što se pokazalo optimalno kod ostrvskih energetskih sistema.



Slika 5. Rad hidro-solarnog sistema danju



Slika 6. Rad hidro-solarnog sistema noću

U prethodnom periodu su tradicionalne akumulacione hidroelektrane balansirale energetski sistem i omogućavale optimalnu efikasnost termo i nuklearnih blokova kao proizvođača bazne energije, a pumpne hidroelektrane su uglavnom „pokrivale” samo pikove dnevne potrošnje. U tom slučaju zapremine gornjih bazena PHE bile su skromnije, prilagođene trajanju dnevnih pikova potrošnje ili dnevne neravnomjernosti potrošnje. Međutim, porastom udjela vjetro i solarnih elektrana koje su varijabilne ne samo na dnevnom već i sezonskom nivou, biće sve veći zahtjevi u pogledu zapremine akumu-

lacija PHE. Osim toga, instalisani kapaciteti vjetro i solarnih elektrana trebaju obezbjediti u određenom vremenu dana zahtjeve potrošača i pumpni rad PHE, kako bi se omogućila stabilnost sistema i u toku noći.

Polazećo od navedenih činjenica, već su u praksi primjenjeni hidro-solarni hibridni sistemi kao i hibridni sistemi vjetro i hidro elektrana za stabilno snabdjevanje nekih ostrvskih područja.

5. Zaključci

Kad se govori o ulozi hidroelektrana u procesu energetske tranzicije i ulozi vodnih akumulacija u ublažavanju negativnih uticaja klimatskih promjena, a u skladu sa prethodnim obrazloženjima, može se zaključiti sljedeće:

1. Borba protiv klimatskih promjena jedno je od najizazovnijih pitanja s kojima se svijet u današnje vrijeme suočava. Sve stručne rasprave o perspektivi razvoja čovječanstva u toku te borbe, ukazuju da će glavni izazovi ovoga stoljeća predstavljati: voda, hrana i energija. Na uskom putu koji vodi do rješenja ovih izazova ne bi trebali napraviti pogrešan korak, pogotovo kada se radi o racionalnom i efikasnom upravljanju vodnim resursima.
2. Antropogeno miješanje u klimatski sistem Zemlje, izaziva sve značajniji poremećaj hidrološkog režima kao problema kojeg je moguće riješiti isključivo vremenskom i prostornom preraspodjelom voda, odnosno formiranjem vodnih akumulacija. Dakle, njihovo formiranje izgradnjom pratećih objekata ne predstavlja nečiju volju da se oni grade ili nečiju volju da se njihova izgradnja zabrani, nego neminovost koja nema alternativu. Pri tom je neophodno pridržavati se savremenih normi, preporuka stručnih institucija i pozitivnih iskustava iz prakse, kako bi se eliminisali ili značajno umanjili negativni ekološki uticaji na okruženje.
3. Hidroenergija, sa svojim već iskorištenim i neiskorištenim potencijalom, ima sve karakteristike i mogućnost da posluži kao katalizator u procesu energetske tranzicije. Međutim, to će zahtijevati fleksibilniji, efikasniji, te ekološki i društveno prihvatljiv pristup povećanju njene proizvodnje, a to znači:
 - a) Povećanje proizvodnje hidroenergije kroz implementaciju novih ekološki prihvatljivih, višenamjenskih hidroenergetskih shema i korištenjem skrivenog potencijala u postojećoj infrastrukturi;
 - b) Povećanje fleksibilnosti proizvodnje iz postojećih hidroelektrana adaptacijom i optimizacijom infrastrukture i opreme u kombinaciji s inovativnim rješenjima za ublažavanje utjecaja na okoliš;
 - c) Povećanjem skladištenja povećanjem zapremine postojećih i izgradnjom novih akumulacija, što moraju osigurati ne samo fleksibilno snabdjevanje energijom, već podržavati i višenamjensko korišćenje voda (posebno vodosnabdjevanje stanovništva i proizvodnju hrane).
4. Zbog važne uloge vodnih akumulacija u ublažavanju posledica klimatskih promjena i u procesu energetske tranzicije, *moguće*

lokacije akumulacija postaju takođe važan prirodni resurs. Zato se izboru potencijalnih lokacija za ovu namjenu treba posvetiti posebna pažnja angažovanjem interdisciplinarnog tima stručnjaka, uz prethodno usaglašene planskih potreba za vodom svih zainteresovanih subjekata u slivu. Odabrane lokacije treba stručno verifikovati, pravno ozvaničiti od strane nadležnih institucija vlasti i uključiti u prostorne planove, te zaštititi od uzurpacije nekih drugih korisnika.

5. Formiranje većih vodnih akumulacija predstavlja složen tehnički poduhvat koji zahtjeva angažovanje iskusnih stručnjaka u pripremi, istraživanju, projektovanju i izvođenju radova, i to u dužem vremenskom periodu, najčešće 10 i više godina. To ukazuje na važnost dugoročnog planiranja potreba za akumuliranjem voda..

Održivost hidroenergije sa
aspekta uticaja na okoliš

/

Sustainability of hydropower in
terms of environmental impact

Prof. dr. Emina Hadžić

University of Sarajevo
Faculty of Civil Engineering, B&H

**3. BH KONGRES O
VODAMA**

Udruženje Inženjera Konsultanata Bosne i Hercegovine
Udruga Konzultanata Inženjera Bosne i Hercegovine
Удружење Инжињера Консултаната Босне и Херцеговине
Association Of Consulting Engineers Of Bosnia and Herzegovina



**OKRUGLI STO / ROUNDTABLE
ENERGETSKO ISKORIŠTENJE HIDROPOTENCIJALA BIH / ENERGY
UTILIZATION OF BH HYDROPOTENTIAL**

**ODRŽIVOST HIDROENERGIJE SA ASPEKTA UTICAJA NA OKOLIŠ
SUSTAINABILITY OF HYDROPOWER IN TERMS OF ENVIRONMENTAL IMPACT**

Emina Hadžić, University of Sarajevo

Sarajevo, 11 maj 2022.

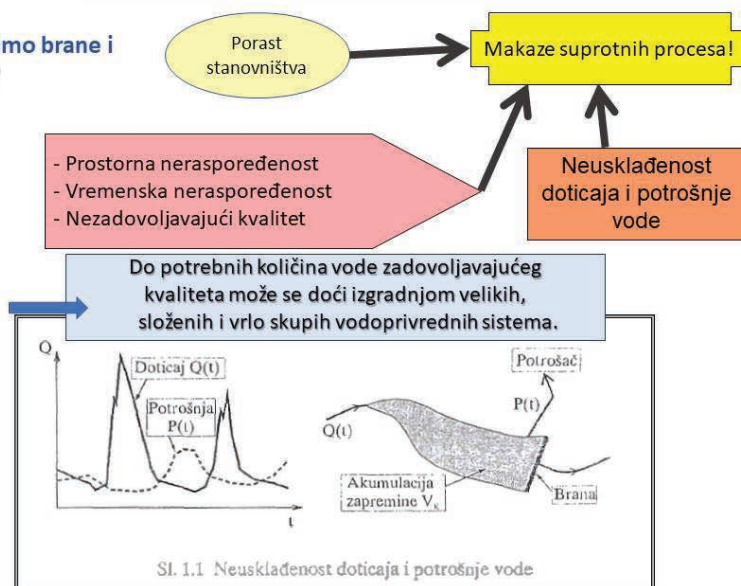
Sadržaj prezentacije:

- I DIO: Uloga i značaj brana i akumulacija
- II DIO: Smjernice za održivost hidroenergije i
Protokol za procjenu održivosti hidroenergije

I DIO: Uloga i značaj brana i akumulacija

Četiri krupna problema sa kojima se susrela civilizacija: **Voda**, **Hrana**, **Energija** i **Životna sredina / Okoliš**

1. Zašto gradimo brane i akumulacije?



2. Utjecaj na životnu sredinu / okoliš ?

Posljednjih desetljeća njihova je uloga i izgradnja postala predmet snažno suprotstavljenih stavova. Rasprave koje se vode o njihovoj ulozi i potrebi daljnje izgradnje postale su dogmatske, nabijene emocijama i kontradiktorne, a stoga i kontra produktivne.

Međutim, kako to neizostavno biva kod svakog velikog antropogenog zahvata, uz pozitivne se učinke javljaju i negativne posljedice.

Brane s pripadnim akumulacijama, predstavljaju vrlo značajne višenamjenske objekte:

- navodnjavanje,
- zaštita od poplava,
- snabdijevanje vodom,
- reguliranje režima voda,
- turizam,
- rekreacija, ...

Sa aspekta proizvodnje energije su sigurne i pouzdane, imaju dug životni vijek



Pumpno-akumulacijska hidroelektrana "Čaplina"

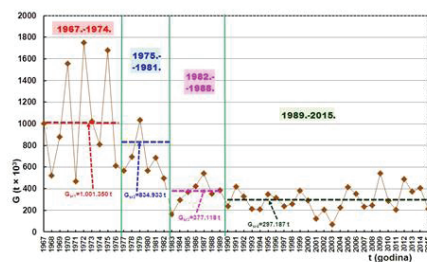
Utjecaji na okoliš:

- Utjecaj na mikroklimu,
- Plavljenje dobara: puteva, pruga, kulturno-historijskog nasljeđa, obradivog zemljišta, ..
- Punjenje i pražnjenje akumulacija može izazvati indukovane potrebe,
- Promjena u režimu nanosa,
- Termalna stratifikacija vode u jezeru,
- Ugroženost biljnih i životinjskih vrsta, ...

Primjer 1:

- Izgradnjom brana mijenja se kontinuitet pronosa nanosa, smanjuju se nizvodne količine, ali se dugoročno smanjuje i zapremina raspoloživog akumulacijskog prostora.
- Individualno, ali i kumulativno bilo koja vrsta pregrade na otvorenom vodotoku utječe na promjenu ekosistema na sljedeća tri načina:
- (1) Mijenjaju nizvodni proticaj vode i nanosa, čime modificiraju biogeokemijski ciklus kao i strukturu i dinamiku akvatičnih i priobalnih staništa.
 - (2) Mijenjaju temperaturu vode, čime utječu na vitalne bioenergetske procese flore i faune.
 - (3) Predstavljaju prepreku slobodnom i prirodnom uzvodno-nizvodnom kretanju organizama i hranjiva, čime sprječavaju biotičku izmjenu bitnu za pružanje podrške održivom razvoju cjelovitog ekosistema. Prethodno navedene bazične promjene značajno utječu na razvoj ekoloških procesa u različitim dimenzijama prostora i vremena

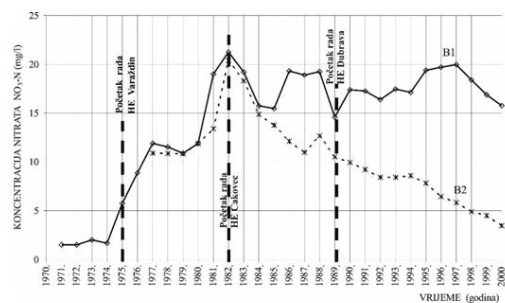
Kao ilustracija navedenog, može poslužiti primjer smanjenja pronosa suspendovanog nanosa duž toka rijeke Drave uzrokovan izgradnjom tri brane za potrebe pogona hidroelektrana. (1) Varaždin; (2) Čakovec; (3) Dabrava.



Godišnji pronos suspendovanog nanosa, G, izmjeren na profile Botovo na Dravi u razdoblju od 1967.-2015.

Primjer 2:

- Izgradnja spomenute tri akumulacije na rijeci Dravi u Hrvatskoj imala je i drugih posljedica koje su se osjetile u široj regiji. Urumović i sar. (2002.) su mjerili svojstva podzemne vode u dvije skupine bunara iz kojih se grad Varaždin snabdijeva pitkom vodom.



Srednje godišnje koncentracije nitrata u podzemnim vodama dvije skupine bunara B1 (uzvodno) i B2 (nizvodno) iz kojih se Varaždin snabdijeva pitkom vodom

Zaključna razmatranja

- Niti jedan od gore navedenih primjera, vezanih za zaustavljanje procesa gradnje brana ili rušenja brana, ne treba se apriori uzimati i razmatrati kao pozitivan ili negativan. **Donošenje zaključaka o ovako složenoj, kompleksnoj, multidisciplinarnoj problematici ne treba, čak je i pogrešno, ostaviti samo na volju određenih skupina.**
- Brane i akumulacije predstavljaju najočitiije, najčešće i najkontroverznije građevine, kada govorimo o upravljanju vodnim resursima. **Vrlo je važno naglasiti da su akumulacije neizbježne i vrlo korisne, te da se razvoj pojedinih regija ili država može direktno povezati s njihovom izgradnjom i funkcioniranjem.**
- U razmatranju pozitivnih i negativnih učinaka već izgrađenih brana i akumulacija ili onih koji se planiraju graditi trebaju se uvažiti mišljenja ne samo zaštitara okoliša, već i tehničara, političara, ekonomista, NVO i ostalih, ne stavljajući dominantno u prvi plan ničije interese, već ih kompromisno zadovoljiti.
- **Ekologija, zaštita okoliša i biološka raznolikost danas predstavljaju važnu temu na kojoj se najlakše senzibilizira javnost i kojoj stoga veliko značenje pridaju sredstva javnog informiranja.** Na toj osnovi koncipirani razlozi mogu poslužiti (i nerijetko poslužiti) kao ključan argument za uklanjanje pojedinih brana, iako se iza tih akcija mogu kriti brojni drugi razlozi, obično oni tehničke, ekonomske ili političke prirode. Zbog kompleksnosti, ali i visoke cijene uklanjanja i za sada nedovoljnog poznavanja ove problematike treba biti oprezan i kritičan kod donošenja odluka. **Oprez i kritičnost moraju biti zasnovani na znanstvenim i objektivnim, ali danas prije svega na iskustvenim analizama.**
- **Naime, postoje brojne mjere kojima se mogu neutralisati ili značajno ublažiti negativni utjecaji akumulacija** na vodene ekosisteme, pa bi ih prije donošenja bilo kakve odluke o uklanjanju brana ili odobravanja ovakvog pristupa trebalo razmotriti. Radikalni zahvati na uklanjanju brana ne smiju se donositi naprečac, bez poznavanja pozitivnih i negativnih učinaka akumulacija bilo na okoliš, društvo ili na ekonomiju.

Kako bi se postigao održivi razvoj, energetski sistem mora pratiti svijest o problematici zaštite okoliša povezane s energetikom.

Odluke treba donijeti konsenzusom brojnih struka, a ključnu ulogu moraju imati građevinski inženjeri, ekolozi i riječni geomorfolozi.

Uvod u diskusiju:

• OKRUGLI STO / ROUNDTABLE • ENERGETSKO ISKORIŠTENJE HIDROPOTENCIJALA BIH / ENERGY UTILIZATION OF BH HYDROPOTENTIAL

- II DIO: Smjernice za održivost hidroenergije i
Protokol za procjenu održivosti hidroenergije
- III DIO: DISKUSIJA - **Održivi razvoj energetskog sektora u BiH**

1. Smjernice za održivost hidroenergije i Protokol za procjenu održivosti hidroenergije

- U vrijeme ponovnog oživljavanja interesa za hidroenergiju kao rezultat sve većih zahtjeva za energetskim izvorima s niskim udjelom ugljika, energetskom sigurnošću i poboljšanim upravljanjem vodama, pokrenute su aktivnosti oko održivosti hidroenergije.
- Tako su skoro dvije decenije trajale rasprave o tome **šta to predstavlja dobru praksu u razvoju hidroenergije kako bi ona bila održiva**. U diskusiju je bio uključen širok spektar zainteresovanih strana, od hidroenergetskih kompanija, do društvenih i ekoloških NVO, međuvladinih organizacija, finansijskih institucija i vlada.
- Vodeću ulogu je imala *Međunarodna hidroenergetska asocijacija* (IHA) koja je na neki način koordinirala sve aktivnosti i u decembru 2018. godine objavila **Smjernice za održivost hidroenergije**. (<https://www.hydropower.org/publications/hydropower-sustainability-guidelines>)
- Smjernice je pregledalo i odobrilo *Vijeće za procjenu održivosti hidroenergije*, preko svog odbora za upravljanje.

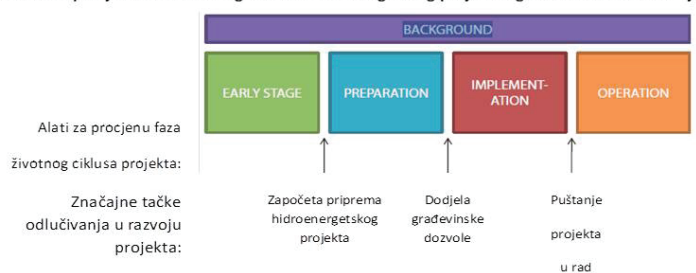
- Smjernice o održivosti hidroenergije čine normativni dokument, razvijen na **bazi iskustva i rezultata dobre međunarodne prakse u hidroenergetskom sektoru tokom faza pripreme, implementacije i rada hidroenergetskih objekata**.
- One daju definiciju dobre prakse u skladu sa šest kriterija: **procjena projekta, upravljanje, angažovanje zainteresovanih strana, podrška zainteresovanih strana, usklađenost/usaglašenost i rezultati**.
- Teme koje obrađuju Smjernice su:

(1) Komunikacije i konsultacije	(14) Zajednice pogođene projektom i sredstva za život
(2) Upravljanje	(15) Preseljenje
(3) Demonstrirana potreba i strateško uklapanje	(16) Autohtoni narodi
(4) Smještanje i dizajn	(17) Rad i uslovi rada
(5) Integrirano upravljanje projektima	(18) Kulturna baština
(6) Hidrološki resursi	(19) Zdravstvo
(7) Pouzdanost i efikasnost sredstava	(20) Biodiverzitet i invazivne vrste
(8) Infrastrukturna sigurnost	(21) Erozija i sedimentacija
(9) Finansijska održivost	(22) Upravljanje rezervoarima
(10) Prednosti projekta	(23) Kvalitet vode
(11) Ekonomska održivost	(24) Otpad, buka i kvalitet zraka
(12) Nabavka	(25) Nizvodni režimi protoka
(13) Upravljanje okolišnim i društvenim pitanjima	(26) Ublažavanje klimatskih promjena i otpornost

Kako bi se podržala implementacija **Smjernica održivosti IHA-e**, razvijen je i **Protokol za procjenu održivosti hidroenergije** za „mjerenje“ performansi održivosti **kako novih tako i postojećih hidroenergetskih objekata**.

Za izradu Protokola IHA je, u bliskoj saradnji sa nizom partnera, pokrenula Forum za procjenu održivosti hidroenergije koji su činili predstavnici organizacija iz različitih sektora, sa različitim stavovima i politikama o pitanjima održivosti vezanih za razvoj i rad hidroenergije.

- Alati za procjenu faza životnog ciklusa hidroenergetskog projekta i glavne tačke odlučivanja



Na kraju treba istaći da **Protokol** ne navodi nikakve specifikacije o zahtjevima za prihvatljivim performansama hidroenergetskog projekta.

Sve zemlje i organizacije koje usvajaju i podržavaju ovaj Protokol, poštuju potrebu da **institucije imaju vlastite politike i stavove o prihvatljivim performansama**.

Dakle, u izradi profila održivosti **Protokol samo pomaže u donošenju odluka o tome šta je održivi projekat, ali odlučivanje o projektima prepušteno je pojedinačnim zemljama, institucijama i organizacijama**.

III DIO: DISKUSIJA - Održivi razvoj energetskeg sektora u BiH

Činjenice* :

- **Obezbeđenje energije, njena diverzifikacija i transformacija** - konverzija, prenos, potrošnja, kao i **kompletan sektor energije** (tehnički, ekonomski, organizacioni) predstavljaju danas jedno od ključnih pitanja u svijetu, ne samo zbog ograničene i neravnomjerne raspoloživosti resursa i sigurnosti snabdjevanja, nego i zbog značajnog uticaja na životnu sredinu i klimatske promjene, koje su danas u žiži energetske politike i strategije, posebno u zemljama u razvoju i tranziciji.
- BiH je jedina zemlja u Evropi, koja nema niti strategiju niti zakon o energetici i energetskeg efikasnosti, institut ili agenciju za energiju, državnu regulatornu komisiju za energiju, energetske bilans i energetske statistiku na nivou BiH.
- Disharmonija nadležnosti i kompetencija s jedne strane, i preuzetih obaveza u procesu integracija u međunarodne tokove s druge strane, za posledicu ima usporavanje objektivno mogućeg bržeg razvoja i korišćenja međunarodnih finansijskih izvora i projekata. To nije slučaj sa susjednim državama, koje pokazuju mnogo uspješniji napredak u reformama energetskeg sektora.

1. Koji je put razvoja energetskeg sektora u BiH?
2. Kakva je uloga HE u BiH, sada i u budućnosti?
3. Kako i na koji način doći do realne procjene potreba za energijom u BiH?
4. Da li rascjepkanost energetskeg sektora doprinosi njegovoj neučinkovitosti?
5. Da li postoje načini na koji bi se rascjepkanost sektora mogla prevazići u cilju izrade pouzdanih scenarija i ostvarljivih strategija razvoja energetskeg sektora?
6. Koji su kratkoročni, srednjeročni i dugoročni ciljevi razvoja energetskeg sektora u BiH?

* ENERGETIKA BiH NA RASKRŠĆU: ULOGA ZNANJA U ODLUČIVANJU I TRANZICIJI, ANUBiH, 2016.



**3. BH KONGRES O
VODAMA**

Udruženje Inženjera Konsultanata Bosne i Hercegovine
Udruga Konzultanata Inženjera Bosne i Hercegovine
Удружење Инжињера Консултаната Босне и Херцеговине
Association Of Consulting Engineers Of Bosnia and Herzegovina



Hvala !

Organizator / Organizer:



Association of Consulting Engineers Bosnia and Herzegovina
Udruženje Konsultanata Inženjera Bosne i Hercegovine
Udruga Konzultanata Inženjera Bosne i Hercegovine
Удружење Консултаната Инжињера Босне и Херцеговине

Srebreći sponzor / Silver sponsor:



Sponzori / Sponsors:



Prijatelji Kongresa / Congress Friends:



