

## PROCJENA EFEKATA PRIMJENE RJEŠENJA BLISKIH PRIRODI (NBS) ZA UMANJENJE RIZIKA OD POPLAVA U SLIVU RIJEKE VRBANJE

Tamara SUDAR<sup>1)</sup>, Vujadin BLAGOJEVIĆ<sup>1)</sup>, Milica TRIFKOVIĆ<sup>1)</sup>,  
Nedeljko SUDAR<sup>1)</sup>, Jasna PLAVŠIĆ<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Zavod za vodoprivredu Bijeljina,

<sup>2)</sup> Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet

### REZIME

Podaci i izvještaji pokazuju da se povećava učestalost ekstremnih vremenskih situacija, što rezultira značajnim ekonomskim štetama i gubicima. Klasične metode za otklanjanje ovih opasnosti su neophodne, ali su često preusko osmišljene i uglavnom se odnose na poboljšanje tehničkih performansi zaštitnih sistema. Međutim, postaje društveno sve relevantnije da hidrotehnička i vodoprivredna rješenja uzimaju u obzir i održivi razvoj regija i gradova. To bi trebalo postići implementacijom rješenja bliskih prirodi (eng. Nature Based Solutions, NBS).

U zemljama jugoistočne Evrope, kao što su Srbija ili Bosna i Hercegovina, postoji velika potreba za održivim smanjenjem hidrometeoroloških opasnosti i rizika, posebno suša, poplava ili klizišta. Sve više se razmatraju i temeljno istražuju mogućnosti unapređenja i proširenja postojeće infrastrukture za ublažavanje ovih rizika korišćenjem NBS pristupa. Međutim, pouzdani podaci i informacije su rijetko ili samo povremeno dostupni, a znanje i svijest ljudi i institucija obično nisu dovoljni. Postoji potreba za sistematskom naučnom analizom NBS potencijala kao i za pristupom implementaciji NBS rješenja u regionima koji su do sada imali malo iskustva sa tim pristupom. Poseban izazov predstavlja evaluacija odgovarajućih mjera.

Opšti cilj novih istraživanja u prevenciji hidrometeoroloških rizika je razvoj i implementacija metoda i

---

Podaci o prihvatanju članka

Primljen: 15.5.2023.

Ispravljen: 30.5.2023.

Prihvaćen: 23.6.2023.

Kontakt: tsudar@zavodzavodoprivredu.com

pristupa za analizu potencijala rješenja bliskih prirodi. Fokus je na velikim i dugoročnim mjerama (npr. „stvaranje više prostora za vodna tijela”) ili njihovoj kombinaciji sa postojećom infrastrukturom. Sveobuhvatni cilj novih istraživanja je smanjenje posljedica ekstremnih hidrometeoroloških događaja i istovremeno postizanje pozitivnih efekata (dodatnih koristi) za prirodu i društvo.

Pilot područje koje se analizira u ovom radu je sliv rijeke Vrbanje u Republici Srpskoj - Bosni i Hercegovini, koje je suočeno sa značajnim rizicima od poplava i klizišta i niskom dostupnošću podataka. Ključni doprinos sprovedenih aktivnosti je sistematska analiza NBS u slivu rijeke Vrbanje radi daljeg unapređenja metodoloških pristupa za procjenu potencijala NBS. Izbor NBS mjera izvršen je iz kataloga projekta RECONNECT. Simulacije u hidrološkom i hidrauličkom modelu potvrdile su pozitivne efekte planiranih mjera zaštite od poplava.

**Ključne riječi:** hidrometeorološki rizici, rješenja bliska prirodi (NBS), analiza potencijala primjene NBS u slivovima sa oskudnim podacima

### 1. UVOD

Čovječanstvo je posljednjih decenija bilo izloženo raznim vrstama prirodnih katastrofa. Od svih vrsta prirodnih katastrofa, one koje se odnose na hidrometeorološke pojave (npr. poplave, oluje, klizišta, suše) pokazuju najbrži trend povećanja učestalosti i intenziteta [5]. Situacija će se vjerovatno pogoršati, s obzirom na projektovane klimatske promjene [4]. Stoga su potrebne efikasne strategije prilagođavanja klimatskim promjenama da bi se smanjili rizici od ekstremnih događaja i povećala otpornost.

Prepoznajući negativne uticaje i izazove koje predstavljaju klimatske promjene, a takođe i zbog rastuće vrijednosti zaštićenih dobara, postoji potreba da se uloga i nivo bezbjednosti objekata i sistema odbrane od poplava ažuriraju u skladu sa postojećim stanjem i novim naučnim saznanjima. Konvencionalne (pasivne) mjere odbrane od poplava postoje stotinama (i hiljadama) godina. Njihova uloga je ponekad multifunkcionalna (melioracije, regulacija rijeka, kontrola erozije), ali njihova primarna uloga ostaje odbrana od poplava. Spontani razvoj sistema odbrane od poplava (uglavnom nakon velikih poplava) često nije uzimao u obzir druge ključne uticaje (prostorno planiranje, životna sredina itd.). Ovaj primjer je evidentan u izgradnji nasipa, kada su rijeke često u manjoj ili potpunoj mjeri odvojene od svojih prirodnih plavnih područja (npr. donji tok i delte rijeke Misisipi u SAD, donji i srednji tok Save u Srbiji, BiH i Hrvatskoj). Posljedica ovako sprovedenih mjera pasivne odbrane od poplava je smanjenje ekonomske vrijednosti ekosistema, prije svega kroz smanjenje prirodnih funkcija šireg područja, posebno smanjenje kontrole poplavnih talasa, degradaciju ekološkog sistema, povećanje troškova održavanja itd. Nedavno se sve veća pažnja poklanja holističkom planiranju i upravljanju rizikom od poplava, naglašavajući ekološke i sociološke vrijednosti, pored primarnog cilja [8]. U ovom inovativnom pristupu, rješenja bliska prirodi (u daljem tekstu NBS – Nature Based Solutions) su se pojavila kao efikasan alat u pružanju sistematskih i multifunkcionalnih odgovora na ovakve izazove.

## 2. PRIRODI BLISKA RJEŠENJA ZA SMANJENJE HIDROMETEOROLOŠKIH RIZIKA

NBS je termin koji se koristi za rješenja zasnovana na prirodnim procesima i ekosistemima za rješavanje različitih vrsta društvenih i ekoloških izazova [8]. Razlog za njihovo uvođenje je što nude mogućnost bliske saradnje sa prirodom u prilagođavanju budućim promjenama, smanjenju uticaja klimatskih promjena i poboljšanju ljudskog blagostanja [1]. Evropska komisija [2] definiše NBS kao „*rješenja koja su inspirisana i podržana prirodom, koja su isplativa, istovremeno pružaju ekološke, društvene i ekonomske koristi i pomažu u izgradnji otpornosti*”. Dalje se naglašava da „*rješenja zasnovana na prirodi moraju imati koristi za bioraznolikost i podržavati pružanje niza ekosistemskih usluga*”. Stoga se smatra da su „kišobran koncept” koji

pokriva niz različitih pristupa vezanih za ekosistem [1, 6] i istovremeno pruža integrisan način uvažavajući različita pitanja. Dosadašnja literatura pokazuje da se višestruki rizici (izazovi) mogu kontinuirano rješavati primjenom NBS [8]. Štaviše, mogu se planirati da zadovolje dvostruku ili višestruku svrhu ublažavanja hidrometeoroloških rizika, kao što su poplave i suše ili klizišta.

Međutim, da bi bili u potpunosti uspješni, moraju se prilagoditi lokalnim uslovima, zbog čega je ključno razumjeti lokalni kontekst u kome će se NBS primjenjivati, fokusirajući se na relevantne procese i karakteristike sistema. Primjena lokalno prilagođenih NBS je visoko na dnevnom redu Evropske komisije (npr. H2020 Program za NBS), koja je namijenila istraživačke i inovacione programe za rješavanje multifunkcionalne prirode NBS i doprinijela razvoju evropske referentne baze. Trenutno, vodeći projekti H2020 su: RECONNECT, PHISICOS i OPERANDUM, koji doprinose ovom cilju.

Detaljna analiza literature [8] pokazala je da je napredak ostvaren u primjeni zelene infrastrukture i rješenja bliskih prirodi uglavnom fokusiran na urbana područja, gdje se većina mjera može kvalifikovati kao mikro ili mala rješenja (ulice, krovovi, parkovi). Ovaj napredak se može tumačiti iz nekoliko razloga [3]: • prvo, mala NBS su veoma atraktivna za upravljanje atmosferskim vodama i urbanu regeneraciju; • drugo, ona su manje složena i njihove prednosti i koristi se mogu uočiti relativno brzo nakon implementacije. Sve više se naglašava smanjenje hidrometeorološkog rizika na velikim područjima (na nivou regiona ili riječnog sliva) koja obuhvataju NBS. Međutim, prelazak sa malih na velika rješenja postavlja niz pitanja u vezi sa procedurama njihovog povećanja, kao i efikasnošću NBS u ublažavanju hidrometeoroloških rizika, uz ispunjavanje ekoloških i/ili društvenih koristi.

Evidentno je da planiranje i implementacija NBS velikih razmjera zahtijeva podršku nauke i međunarodnu saradnju. Projekat HORIZON 2020 RECONNECT [7] koji je trenutno u toku ima za cilj da brzo unaprijedi evropski referentni okvir za NBS za smanjenje hidrometeoroloških rizika demonstriranjem, referenciranjem, korišćenjem i širenjem NBS velikih razmjera u ruralnim i prirodnim područjima. Da bi to uradio, projekat RECONNECT<sup>1</sup> se oslanja na mrežu pažljivo odabranih studija slučaja koje pokrivaju širok i

<sup>1</sup> [www.reconnect.eu](http://www.reconnect.eu)

raznolik spektar lokalnih uslova, geografskih karakteristika, institucionalnih/upravljačkih struktura i društvenih/kulturnih okruženja kako bi se NBS uspješno unaprijedili širom Evrope i na međunarodnom nivou.

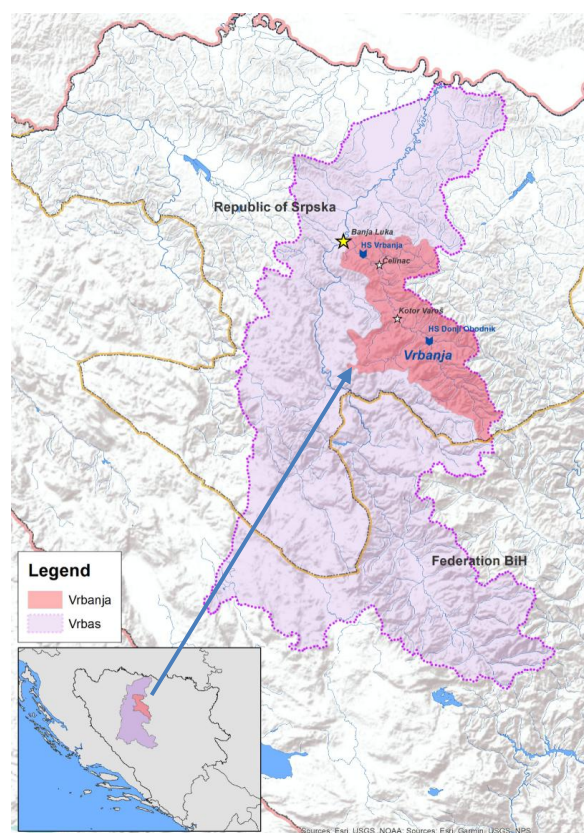
U zemljama jugoistočne Evrope, poput Srbije ili Bosne i Hercegovine, postoji velika potreba za održivim smanjenjem hidrometeoroloških opasnosti i rizika, posebno suša, poplava i klizišta. Sve više se razmatraju mogućnosti unapređenja i proširenja postojeće infrastrukture uz pomoć NBS. Potencijal za njihovu sistematsku implementaciju kao samostalne mjere ili u kombinaciji sa tradicionalnim inženjerskim mjerama (*hibridna rješenja*) još uvijek nije dovoljno razvijen i zahtijeva dalja istraživanja. Iako je uobičajena praksa u ovim oblastima da se mjere za smanjenje rizika optimizuju u odnosu na samo jedan cilj (npr. ublažavanje poplava ili suša), neophodno je promovisati dodatne koristi za bioraznolikost i/ili ljudsko blagostanje.

Ovaj region je veoma izložen raznim prirodnim opasnostima, među kojima su poplave najčešće i najrazornije. Poplave pogađaju velike rijeke (Dunav, Sava, Drina, Vrbasa), ali ima i manjih slivova koji su izuzetno skloni bujičnim poplavama i pratećim klizištima. Sistemi odbrane od poplava u pojedinim oblastima su ili nedovoljni ili nepostojeći, a njihovo unapređenje u budućnosti moglo bi da se zasniva na principima NBS. S druge strane, suše sve više pogađaju ovo područje i nanose štetu poljoprivredi, koja je važna privredna grana. Ova situacija zahtijeva integrisani pristup upravljanju vodama, kombinovan sa holističkom perspektivom o potencijalnim koristima za prirodu i ljude, što se trenutno ne praktikuje. Međutim, po pravilu, podaci su slabo ili sporadično dostupni, a znanje i svijest ljudi i institucija u regionu su obično nedovoljni.

Opšti cilj istraživanja je razvoj i primjena pristupa za analizu potencijala rješenja bliskih prirodi koja se mogu koristiti u slivovima jugoistočne Evrope, u cilju smanjenja hidrometeoroloških rizika. Fokus je na rješenjima velikih razmjera ili njihovoj kombinaciji sa postojećom infrastrukturom kako bi se smanjile posljedice hidrometeoroloških događaja i istovremeno ostvarile dodatne koristi za prirodu i društvo. Kao učesnik u projektu RECONNECT, Građevinski fakultet u Beogradu priprema studiju izvodljivosti za primjenu prirodi bliskih rješenja za zaštitu od poplava na slivu rijeke Vrbanje u Bosni i Hercegovini, te će u ovom radu biti prikazani efekti primjene ovih mjera.

### 3. SLIV RIJEKE VRBANJE

Sliv Vrbanje se nalazi u centralnom dijelu Bosne i Hercegovine i pripada slivu Vrbasa – jednom od najvažnijih integrisanih vodoprivrednih sistema u Republici Srpskoj (slika 1). Vrbanja se prostire na površini od 804 km<sup>2</sup> i duga je 95,5 km (maksimalno 101,15 km). Gornji tok rijeke je planinski sa strmim padinama, srednji tok je umjereno brdovit, dok je donji tok u ravnici. Šume su preovlađujući zemljišni pokrivač (61,46%). Pašnjaci pokrivaju preko 12% površine sliva. Obradivo zemljište u svim dijelovima sliva dobijeno je intenzivnom sječom šuma.



Slika 1. Slivovi Vrbasa i Vrbanje

Dosadašnja istraživanja [11] pokazala su značajne promjene u poplavnim tokovima i procesima formiranja velikih poplavnih talasa. Topografija sliva Vrbanje i dominantni antropogeni uticaji, među kojima je najznačajnije smanjenje šumskih površina, usloveli su veliki porast oticanja iz neposrednog sliva i povećanje poplava u urbanim područjima. Dijelovi sliva su podložni bujičnim poplavama koje karakterišu kratkotrajnost, velike brzine toka i masivno kretanje nanosa.

Česte poplave, velike štete uzrokovane izlivanjem Vrbanje i njenih pritoka, te visoki troškovi oporavka u prošlosti (posebno nakon poplava 2010. i 2014. godine) ukazuju na potrebu poboljšanja sistema zaštite od poplava [11].

S obzirom na to da su tokom 2010. i 2014. godine zabilježene značajne poplave, nakon 2014. godine počelo je intenzivnije planiranje i izgradnja strukturnih mjera zaštite od poplava. Radovi su uključivali izgradnju nasipa i sanaciju riječnog korita i uklanjanje uskih grla (uglavnom zamjena mostovskih konstrukcija).

#### 4. IZBOR NBS PO METODOLOGIJI PROJEKTA RECONNECT

Analiza i izbor NBS se zasniva na metodologiji razvijenoj u okviru RECONNECT-a [9], a sastoji se od sljedećih koraka:

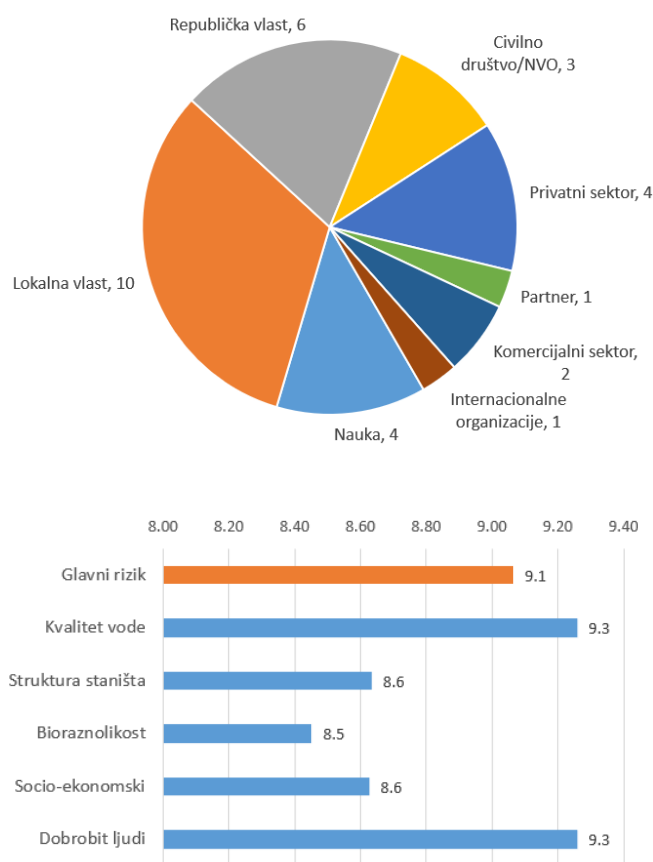
- pregled mjera iz RECONNECT kataloga mjera i uži odabir odgovarajućih mjera na osnovu stručnog mišljenja;
- rangiranje mjera koje su ušle u uži izbor na osnovu evaluacije ciljeva i podciljeva od strane zainteresovanih strana na slivu u okviru višekriterijumske analize (VKA).

Širi izbor mjera iz RECONNECT kataloga mjera NBS zasniva se na tehničkim kriterijumima [9]: vrsti mjere koja se primjenjuje, opasnostima koje najviše utiču na područje, tipu zemljišnog pokrivača, tipu površine zemljišta i vrsti intervencije ili projekta. Širi izbor je izvršen automatski u RECONNECT katalogu mjera, dok je uži izbor uključivao stručno mišljenje o prikladnosti ovih mjera u slivu Vrbanje.

Za rangiranje mjera koje su ušle u uži izbor korišćena je višekriterijumska analiza (VKA). Rangiranje se zasniva na ponderima za različite ciljeve/podciljeve koje daju zainteresovane strane i objektivnoj procjeni uticaja mjera NBS na konkretne ciljeve/podciljeve [9]. Šest glavnih ciljeva su: glavni rizik (poplave i klizišta u ovom slučaju), kvalitet vode, struktura staništa, bioraznolikost, socio-ekonomski ciljevi i dobrobit ljudi. Ponderi cilja/podcilja su dobijeni od zainteresovanih strana (institucije sektora voda, lokalne uprave, privredni subjekti, nevladine organizacije, akademska zajednica itd.) putem ankete, u kojoj se od njih tražilo da vrednuju ciljeve/podciljeve. Na taj način oni efikasno daju svoje preferencije o prednostima i koristima NBS u slivu, a da nisu informisani o odabranim mjerama NBS.

Primljen je ukupno 31 odgovor na anketu, sa strukturom prikazanom na slici 2 - gore. Najveću težinu učesnici ankete dali su ciljevima koji se odnose na kvalitet vode i dobrobit ljudi (9,26), a slijede glavni rizik – poplave i klizišta (9,06), slika 2 - dole.

Sa težinom cilja/podcilja dobijenom od zainteresovanih strana, rezultat VKA je rangirana lista mjera. Ovo je sprovedeno za dvije vrste opasnosti: poplave (riječne i bujične poplave) i klizišta, kao i za sve opasnosti zajedno. Mjera s najvišim rangom opasnosti od poplava je obnova inundacija, nakon čega slijede mjere pošumljavanja i ponovnog pošumljavanja (slika 3).

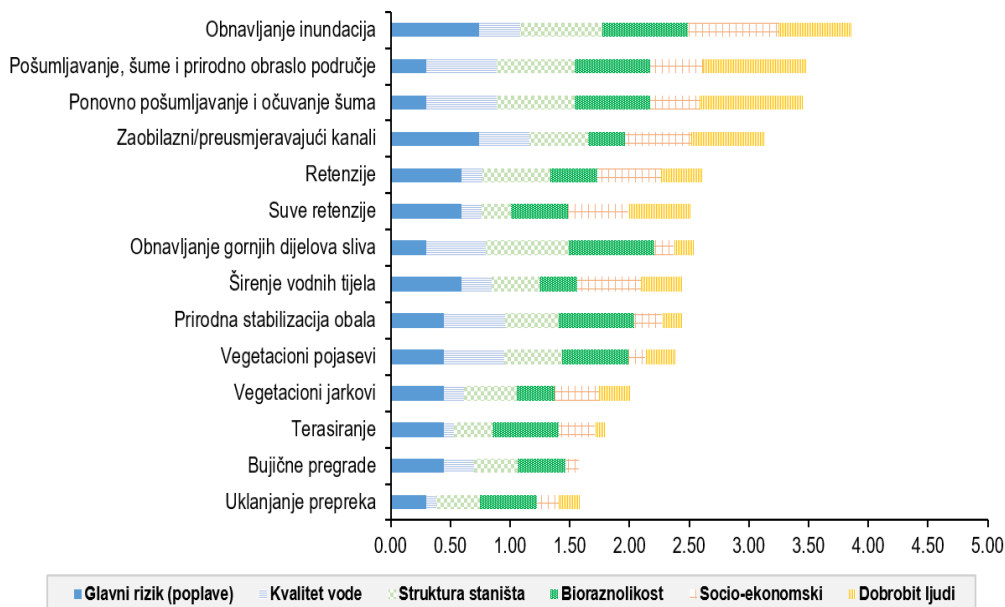


Slika 2. Struktura zainteresovanih strana na slivu Vrbanje – gore, ponderi glavnih ciljeva – dole

Mjere pošumljavanja, obnove gornjih dijelova sliva, retenzija, aktiviranja suvih retenzija i kontrole erozije, mjere su koje podržavaju jačanje retenzionog kapaciteta sliva, dok obnova inundacija daje kratkoročne efekte odmah nakon implementacije.

U slučaju sliva Vrbanje, uključene su detaljne karte i podaci, kao i zapažanja sa terena, hidraulička efikasnost realizacije planiranih mjera, te vlasnička struktura lokacija na kojima bi se nalazile potencijalne mjere. Sljedeće mjere su mikropozicionirane i njihovi efekti su

sagledavani (u odnosu na postojeće stanje) u okviru hidrološkog i hidrauličkog modela: obnova inundacija, retenzije, pošumljavanje, uklanjanje prepreka i širenje vodnih tijela.



Slika 3. Rangirane NBS mjere za opasnost od poplava

## 5. HIDROLOŠKO I HIDRAULIČKO MODELIRANJE – EFEKTI NBS MJERA

Hidrološko modeliranje je izvršeno koristeći Kalypso Hydrology softver razvijen na Tehničkom univerzitetu u Hamburgu (TUHH). Ovaj softver zahtijeva pripremu veće baze ulaznih podataka i karata, ali ima mogućnost da primijeni neke od NBS za smanjenje hidrometeoroloških rizika [10]. Za simulacije hidrauličkog modeliranja korišćen je softverski paket HEC-RAS u kombinaciji sa softverom GeoHECRAS i ArcGis. Formiran je hidraulički ravanski (2D) model za površinu od oko 3.000 ha.

Modeli su izrađeni za dva scenarija:

1. bazni scenario – početno stanje
2. budući scenario – planirano stanje.

Zbog obima analize i veličine sliva u nastavku su dati rezultati za karakteristično urbano područje Čelince, jer je jedno od najznačajnijih poplavnih područja. Ovo područje karakteriše značajan obim plavljenja, budući

da se ušće Jošavke u rijeku Vrbanju nalazi neposredno nizvodno od Čelince (slike 4 i 5).

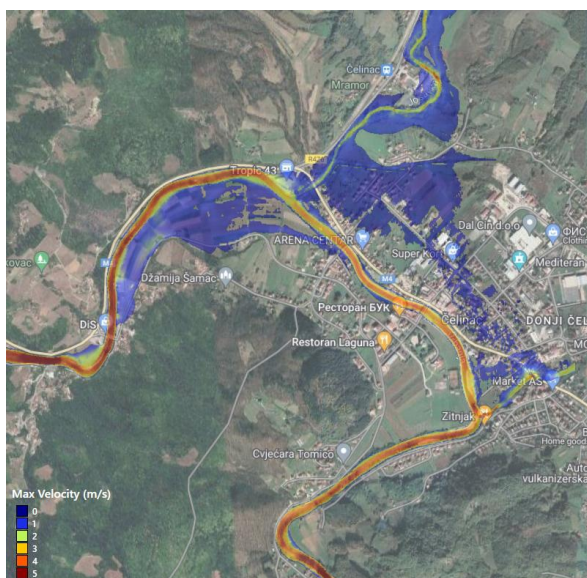
Nakon kalibracije i validacije modela razmatrane su računke velike vode povratnih perioda  $T = 20, 100$  i  $500$  godina, ali će se u ovom radu dati rezultati samo za stogodišnje velike računke vode. Na slikama 4 i 5 prikazane su mape dubina i brzina plavljenja za velike računke vode povratnog perioda 100 godina.

Nakon izvršenih simulacija za bazno (početno) stanje izvršene su korekcije hidrološkog i hidrauličkog modela kako bi se simuliralo buduće (planirano) stanje, sa implementacijom NBS. U hidrološkom modelu razmatrana je mogućnost pošumljavanja, kao i efekti potencijalnih retenzija na ublažavanje poplavnog talasa. Rezultati ovih modela korišćeni su kao granični uslovi (ulazi) za hidraulički model. Ostale mjere (obnova inundacija, širenje vodnih tijela i uklanjanje prepreka) modelirane su modifikacijom terena u okviru hidrauličkog modela.





Slika 4. Mapa dubina plavljenja za modelirane velike vode T100 na području Čelince – postojeće stanje



Slika 5. Mapa brzina za modelirane velike vode T100 na području Čelince – postojeće stanje

### 5.1 Pošumljavanje

U okviru prethodnih istraživanja [11] planirano je ograničeno pošumljavanje od 282,06 ha u područjima sa intenzivnom i izuzetno jakim erozijom. S obzirom na dominantan uticaj gubitka šuma koji je uzrokovao povećanje oticanja, analizirana je degradacija šuma i predloženo dodatno pošumljavanje u većem obimu. Lokacije su identifikovane korišćenjem modela osjetljivosti na bujične poplave i GIS podataka sa šumskih

gazdinstava i satelitskih snimaka iz posljednjih 20 godina. Ovim je identifikovano 10,71 km<sup>2</sup> goleti i područja sa značajnim gubitkom šuma.

U Kalypso Hydrology hidrološkom modelu, pošumljavanje se može prikazati promjenom namjene zemljišta, prvenstveno promjenom parametra koji predstavlja svojevrsni koeficijent oticanja (vrijednosti su u rasponu od 0 - 1, gdje maksimalna vrijednost 1 pretpostavlja 100% direktan odliv sa površina) [10]. Promjena namjene zemljišta samo za područja s gubitkom šuma ne daje zadovoljavajuće rezultate s obzirom na njihovu površinu u odnosu na ukupnu površinu sliva. Uzimajući u obzir nepovoljno stanje postojećih šuma u pogledu zadržavanja oticaja i površine koju zauzimaju, potrebno je razmotriti poboljšanje njihovog kvaliteta. Optimalna gustina i sastav šuma je preduslov za stabilan vodni režim, odnosno apsorpciju padavina, smanjenje transpiracije i evaporacije, te očuvanje i stabilizaciju šumskog zemljišta. Promjena kvaliteta šuma i njihovo dovođenje na nivo na kojem mogu na zadovoljavajući način obavljati svoju ulogu u smanjenju oticanja je faktor koji značajno utiče na ukupni oticaj iz sliva.

Mjera pošumljavanja je tako posmatrana za dva slučaja:

- pošumljavanje na mjestima gubitka (sječe) šuma i postojećih goleti, prema podacima šumskih gazdinstava i satelitskim snimcima iz posljednjih 20 godina;
- poboljšanje kvaliteta postojećih šuma, što je značajno za dugoročno poboljšanje drenažnih karakteristika sliva.

### 5.2 Retenzije

Retenzije sadrže vodu tokom suvog vremena i dizajnirane su da zadrže više vode kada pada kiša. U gornjem dijelu sliva planirano je 5 manjih retenzija ukupne zapremine  $2 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. U hidrološkom modelu ove retenzije su posmatrane zajedno, sa branom visokom do 20 m. Uzvodno od Čelince moguće je planirati retenziju zapremine  $5,2 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, sa branom visine do 30 m. Dakle, simulacije postignutih efekata sprovedene su u hidrološkom modelu sa izgradnjom dvije retenzije, ukupne zapremine oko  $7,2 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

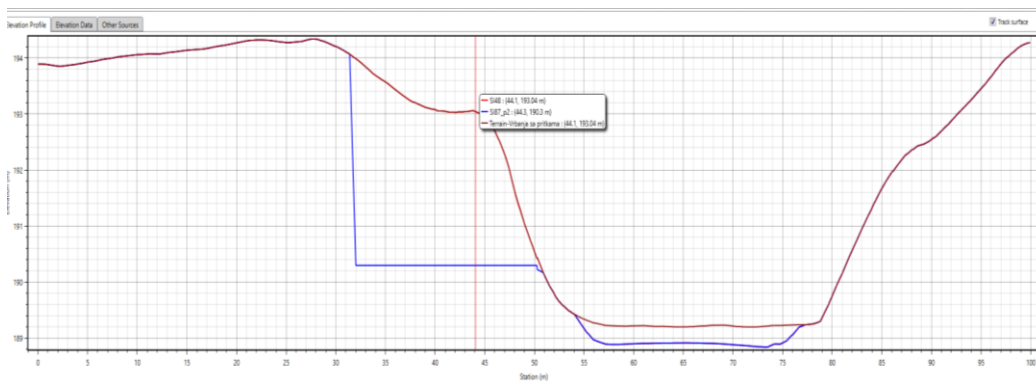
### 5.3 Efekti mjera u hidrauličkom modelu

Prilagođavanje hidrauličkog modela za planirano stanje uključivalo je korekcije geometrijskog fajla i promjene ulaznih parametara (ulaznih hidrograma), kao posljedicu mjera poboljšanja oticanja i zadržavanja vode u slivu nakon implementacije bioinženjerskih mjera za kontrolu erozije i oticanja iz sliva. Promjene u odnosu na postojeće stanje su sljedeće:

- *pošumljavanje i retenzije* – različiti ulazni hidrogrami u odnosu na postojeće (bazno) stanje;
- *uklanjanje prepreka* u riječnom koritu (konstrukcije tipa brana, neadekvatne konstrukcije mostova itd.) – modifikacija geometrije;
- *širenje glavnog korita* sa nivelacijskim elementima regulisanog korita potoka – modifikacija geometrije;

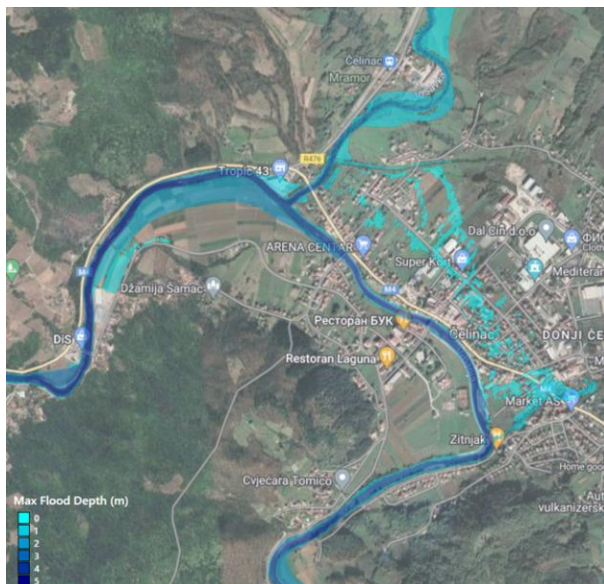
- *obnova inundacija*, proširenje područja za prenos poplavnih talasa na višim riječnim terasama – modifikacija geometrije.

Ključni parametri (gustina računске mreže, donji granični uslov, vrijednosti hidrauličkog otpora strujanju) ostali su nepromijenjeni u odnosu na hidraulički model postojećeg stanja.

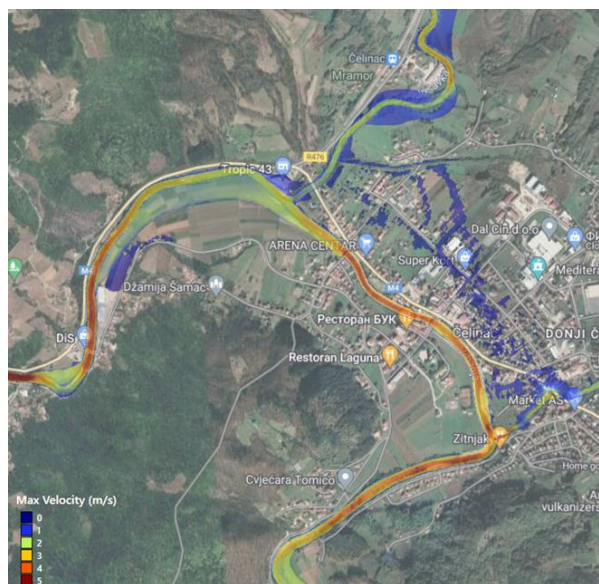


Slika 6. Povećanje kapaciteta postojećeg korita Vrbanje na području Čelince

Na slikama 7 i 8 prikazane su mape dubina i brzina plavljenja velike računске vode povratnog perioda  $T=100$  godina na području Čelince za scenario sa implementiranim NBS (sve mjere posmatrane su zajedno).



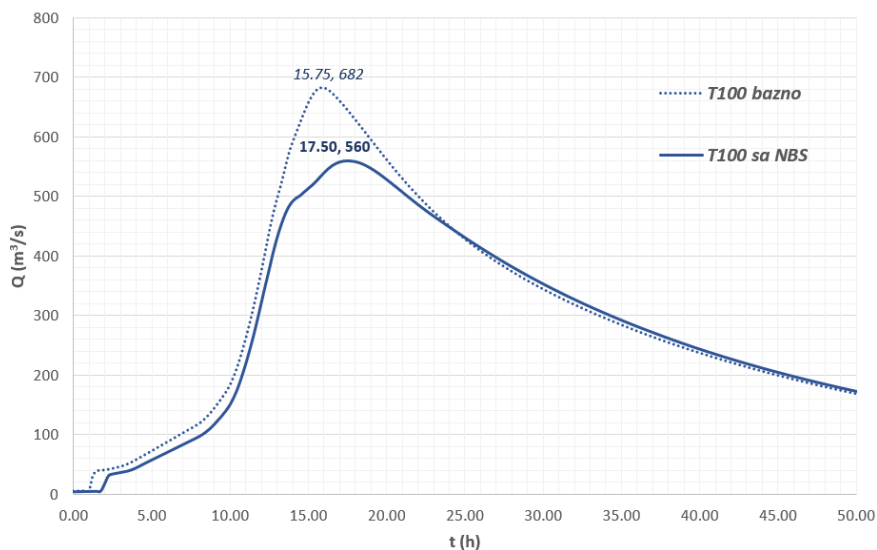
Slika 7. Mapa dubina plavljenja za modelirane velike vode T100 na području Čelince – planirano stanje



Slika 8. Mapa brzina za modelirane velike vode T100 na području Čelince – planirano stanje

Sa prethodnih slika je vidljivo da je obim plavljenja značajno smanjen u urbanoj zoni grada Čelince. U odnosu na postojeće stanje, na profilu nizvodno od ušća Jošavke u Vrbanju u Čelincu (slika 9), vrh poplavnog talasa velike računске vode povratnog perioda 100 godina je odgođen za oko 2 sata i smanjen sa 682 na 560  $m^3/s$  (18%).





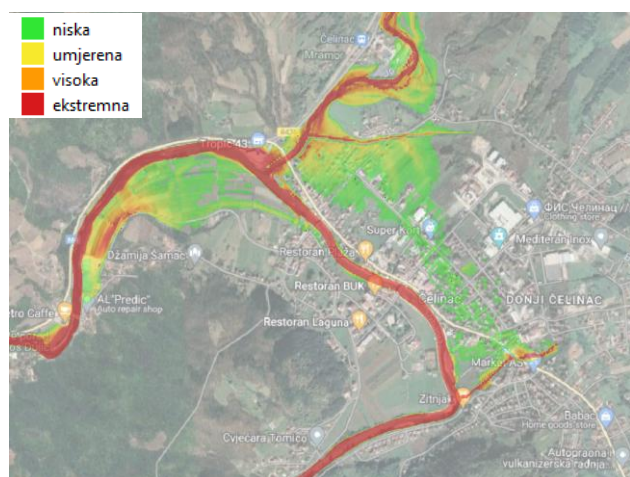
Slika 9. Modelirani hidrogrami velikih računskih voda T=100 godina na profilu nizvodno od ušća Jošavke u Vrbanju kod Čelinca

### 6. MAPE OPASNOSTI I RIZIKA OD POPLAVA – EFEKTI NBS MJERA

Mape opasnosti zasnivaju se na prethodno dobijenim rezultatima hidrološko-hidrauličkih modeliranja, koji definišu osnovne pokazatelje plavljenja. Dobijaju se formiranjem geoprostornih rasterskih podloga i matematičkim odnosima, koristeći formulu [11, 12]:

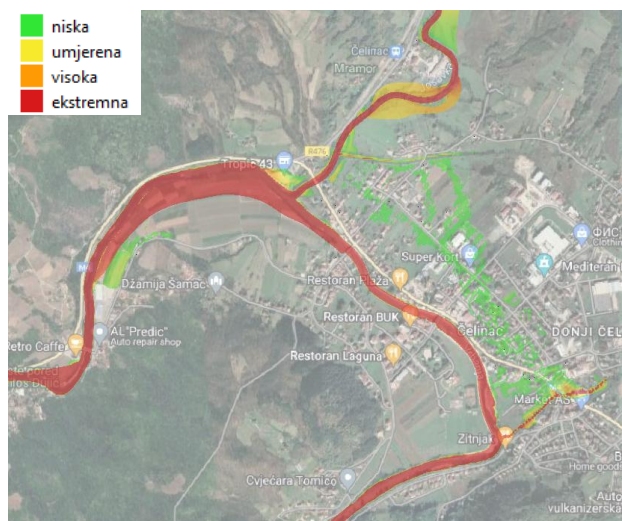
$$O = h \times (v + 0,5) \tag{1}$$

gdje su: *h* - dubina plavljenja (m), *v* - brzina plavljenja (m/s), 0,5 - korekciona konstanta brzine.



Slika 10. Mapa opasnosti za veliku vodu T100 na području Čelinca – postojeće stanje

Opasnost je podijeljena u četiri kategorije: niska, umjerena, visoka i ekstremna opasnost. Na slikama 10 i 11 prikazane su mape opasnosti od poplava za veliku računsku vodu povratnog perioda T=100 godina, redom za postojeće i planirano stanje.



Slika 11. Mapa opasnosti za veliku vodu T100 na području Čelinca – planirano stanje

Utjecaj poplava na stanovništvo i privredu, bez obzira na njihov karakter (veći vodotoci, bujične poplave, urbane i sl.), prostorno se prikazuje na **mapama rizika** od poplava. Sadržaj mapa rizika određen je EU direktivom (Direktiva 2007/60/EC), a shodno EU Direktivi o



procjeni i upravljanju rizikom od poplava, definisane su sljedeće ugrožene kategorije: stanovništvo, ekonomija/privreda, zaštićena područja, kulturno-istorijski spomenici i IPPC postrojenja. Faktor rizika (FR) određen je prema sljedećem obrascu [11, 12]:

$$FR = \sum n \times TF \times O \quad (2)$$

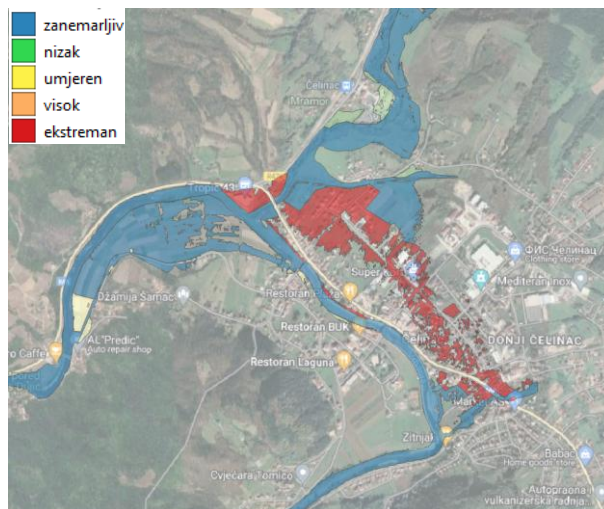
gdje su: *FR* - faktor rizika; *n* - broj tačaka, dužine linija (km) ili površina poligona (km<sup>2</sup>); *TF* - težinski faktor; *O* - koeficijent opasnosti.

U odnosu na težinske faktore za proračun poplavnog rizika na aluvijalnim vodotocima, izvršeno je usklađivanje vrijednosti težinskih koeficijenata kako bi se vrijednost proračunatog rizika svela u realne okvire imajući u vidu rezoluciju i opseg prikaza. Dakle, nakon detaljne analize potencijalno ugroženih kategorija u plavnom području, predloženo je korišćenje prilagođenih/izmijenjenih težinskih faktora za kategoriju stanovništvo i kategoriju ekonomija, dok ostale kategorije (zaštićena područja, kulturno-istorijski spomenici i IPPC postrojenja) nisu razmatrane, s obzirom da one ne postoje unutar plavnog područja. Nakon definisanja težinskih faktora za određene kategorije ugroženosti/opasnosti računa se faktor rizika (FR) i definišu granične vrijednosti „pragova” poplavnog rizika (zanemarljiv, nizak, umjeren, visok i ekstrem) u zavisnosti od vrijednosti faktora rizika (FR).

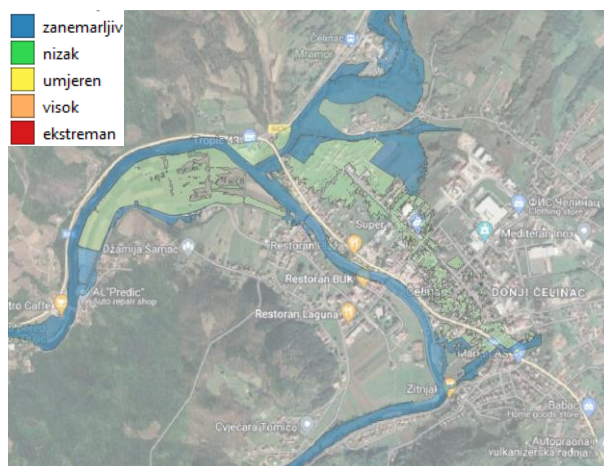
Na slici 12 prikazan je rizik od poplava za kategoriju stanovništvo u karakterističnom plavnom području urbane zone Čelinac, dok je na slici 13 prikazan rizik od poplava za kategoriju ekonomija. Rizik od poplava za kategoriju ekonomije izračunava se kao ukupni rizik za privredne subjekte, poljoprivredu i saobraćajnu infrastrukturu.

Pod ekstremnim poplavnim rizikom za kategoriju stanovništvo u slivu Vrbanje pri velikim vodama povratnog perioda  $T=100$  godina nalazi se 29,08 ha površine, odnosno 347 društvenih objekata i objekata domaćinstava. Ukupno, 508 objekata stanovanja se plavi stogodišnjom poplavom. Ekstremni i visoki rizici od poplava nisu zabilježeni za kategoriju ekonomija. Ukupan broj poplavljenih objekata privrede je 16 za stogodišnju veliku vodu, a površina poplavljenog poljoprivrednog zemljišta iznosi 49,16 ha.

Na slici 14 prikazani su rezultati za kategoriju stanovništva, za planirano stanje (nakon implementacije NBS), dok su na slici 15 prikazani rizici za kategoriju ekonomija.



Slika 12. Mapa rizika od poplava za stogodišnju veliku vodu, kategorija stanovništvo – postojeće stanje

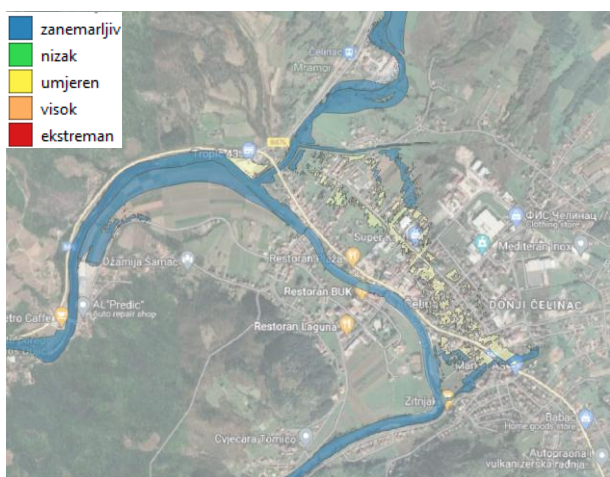


Slika 13. Mapa rizika od poplava za stogodišnju veliku vodu, kategorija ekonomija – postojeće stanje

Analizirani su efekti NBS za cijeli sliv Vrbanje, a predstavljaju razliku između postojećeg stanja i stanja nakon sprovođenja mjera NBS. Ključni pokazatelji su smanjenje ekstremnih i visokih rizika od poplava. Pod ekstremnim rizikom od poplava za stanovništvo u slivu Vrbanje, u planiranom stanju (nakon implementacije NBS), za stogodišnju veliku vodu nalazi se 1,97 ha zemljišta i 53 objekta stanovanja.

U odnosu na bazni scenario (postojeće stanje), postoji značajan trend smanjenja površina pod ekstremnim rizikom od poplava, broja poplavljenih objekata i prelaska u niže klase rizika. Za razliku od postojećeg stanja, broj objekata pod ekstremnim rizikom od

stogodišnje velike vode smanjen je za 294 (sa 347 na 53 objekta). Ovo su povoljni efekti planiranih NBS za kategoriju stanovništva koja je u ekstremnom riziku. Nešto manji efekti su prikazani za kategoriju visokog rizika, ali je evidentno da je rizik sveden na minimum i da prelazi sa viših klasa rizika u niže. Slična je situacija i sa ostalim rizicima (umjerenim, niskim i zanemarljivim). Ukupan broj poplavljenih objekata značajno je smanjen i to oko 70%.



Slika 14. Mapa rizika od poplava za stogodišnju veliku vodu, kategorija stanovništvo – planirano stanje



Slika 15. Mapa rizika od poplava za stogodišnju veliku vodu, kategorija ekonomija – planirano stanje

Povoljni efekti planiranih NBS evidentni su i za kategoriju ekonomije, posebno na smanjenje umjerenog i niskog rizika od poplava. Ekstremni i visok rizik od poplava nisu zabilježeni za kategoriju ekonomije za

stogodišnju veliku vodu u planiranom stanju. Posmatrajući cijeli sliv Vrbanje, smanjen je broj poplavljenih privrednih objekata u odnosu na trenutno/bazno stanje za 13 objekata. Poplavljene poljoprivredne površine su takođe smanjene za 36 ha. Značajan trend prelaska na niže klase rizika od poplava evidentan je nakon primjene NBS.

Dakle, što se tiče smanjenja obima plavljenja i rizika od poplava na posmatranom području, hidrološkim i hidrauličkim modelima potvrđen je pozitivan efekat primjene mjera NBS. Svakako ostaje zadatak da se ove mjere optimizuju i da se sagledaju sve koristi (glavne – smanjenje godišnjih šteta i dodatne – za prirodu i ljude) kako bi se provjerila izvodljivost ovih mjera i sa ekonomske strane (cost-benefit analiza).

## 7. ZAKLJUČAK

Koristeći dobru praksu i osnove metodoloških pristupa iz projekta RECONNECT, izvršena je preliminarna analiza potencijala i primjene prirodi bliskih rješenja (NBS) u slivu rijeke Vrbanje u jugoistočnoj Evropi (Bosna i Hercegovina) za zaštitu od hidrometeoroloških opasnosti i rizika u ruralnim slivovima. Primjena ovih mjera uključuje istovremenu implementaciju dodatnih koristi za bioraznolikost i/ili dobrobit ljudi.

S obzirom da se radi o slivu sa skromnim hidrološkim i meteorološkim podacima, koji je podložan poplavama sa trendovima dalje degradacije, značajna pažnja se poklanja implementaciji kompleksnih hidroloških i hidrauličkih modela. Na ovaj način ostvarena su dva ključna cilja: tumačenje postojeće hidrološke i hidrauličke situacije u vezi sa pojavom poplava i sagledavanje efekata planiranih NBS. Značajan dio podataka i podloga za hidrološki model trebalo je dopuniti kako bi se obezbijedila odgovarajuća funkcionalnost modela.

Na osnovu višekriterijumske analize, uzimajući u obzir učešće javnosti i jačanje ekoloških parametara sliva, rangirane su odabrane mjere iz RECONNECT-ovog kataloga NBS mjera. Mogućnost zaštite od poplava korišćenjem NBS potvrđena je efektima dobijenim korišćenjem rezultata simulacija u hidrološkom i hidrauličkom modelu.

Istraživanja na slivu Vrbanje će se nastaviti u okviru projekta RECONNECT, u segmentu analize izvodljivosti, odnosno procjene glavnih i dodatnih koristi usljed primjene NBS.

**ZAHVALNICA / ACKNOWLEDGMENT**

Dio ovog istraživanja je finansiran iz programa za istraživanje i inovacije Evropske unije Horizon 2020, u okviru sporazuma o grantu br. 776866 za projekat RECONNECT (Regenerating ECOsystems with Nature-based solutions for hydro-meteorological risk rEduCTion). Istraživanje odražava samo stav autora i Evropska unija nije odgovorna za bilo kakvu upotrebu informacija sadržanih u ovom dokumentu.

A part of this research has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 776866 for the RECONNECT (Regenerating ECOsystems with Nature-based solutions for hydro-meteorological risk rEduCTion) project. The study reflects only the authors' view and the European Union is not liable for any use that may be made of the information contained herein.

**LITERATURA**

- [1] Cohen-Shacham E., Walters G., Janzen C. and Maginnis C. (2016), Nature-based solutions to address global societal challenges, IUCN, 10.2305/IUCN.CH.2016.13.en
- [2] European Commission, EC (2015), Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on 'Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities'
- [3] European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Naumann, S., Calfapietra, C., Bulkeley, H., et al. (2020). Nature-based solutions: state of the art in EU-funded projects, Publications Office, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/236007>
- [4] European Environment Agency, EEA (2017), Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016: An indicator-based report, Publications Office
- [5] Guha-Sapir D. (2016), Annual Disaster Statistical Review 2016: The Numbers and Trends. CRED
- [6] Nesshöver C., Assmuth T., Irvine K.N., Rusch G.M., Waylen K.A., Delbaere B., Haase D., Jones-Walters L., Keune H., Kovacs E., Krauze K., Külvik M., Rey F., van Dijk J., Vistad P.I., Wilkinson M.E., Wittmer H. (2017), The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. *Science of The Total Environment*, 579, 1215-1227, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106>
- [7] RECONNECT project: Regenerating ECOsystems with Nature-based solutions for hydro-meteorological risk rEduCTion, European Union's Horizon 2020 Research and Innovation programme, grant agreement No 776866, 2018-2023, <http://www.reconnect.eu/>
- [8] Ruangpan, L., Vojinovic Z., Di Sabatino S., Leo L.S., Capobianco V., Oen A.M.P., McClain M.E., Lopez-Gunn E. (2020), Nature-based solutions for hydro-meteorological risk reduction: a state-of-the-art review of the research area, *Natural Hazards and Earth System Sciences* 20: 243–270. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-243-2020>
- [9] Ruangpan, L., Vojinovic, Z., Plavšić, J. et al., Incorporating stakeholders' preferences into a multi-criteria framework for planning large-scale Nature-Based Solutions. *Ambio* 50, 1514–1531 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01419-4>
- [10] Sudar T. (2022), Development of a Water Resources Model for the Assessment of the Implementation Potential of Nature Based Solutions (NBS) in River Basins, Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)
- [11] Zavod za vodoprivredu Bijeljina & Institut za hidrotehniku i vodnoekološko inženjerstvo – Građevinski fakultet u Beogradu (2016-2017), Mape opasnosti i rizika za sliv Vrbasa u BiH
- [12] Zavod za vodoprivredu Bijeljina (2022), Studija: Mapiranje rizika od bujičnih poplava urbanih područja u Bosni i Hercegovini sa preliminarnim procjenama primjene zaštitinih mjera baziranih na prirodom inspirisanim rješenjima



## ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF APPLYING NATURE-BASED SOLUTIONS (NBS) TO REDUCE THE RISK OF FLOODING IN THE VRBANJA RIVER BASIN

by

Tamara SUDAR<sup>1)</sup>, Vujadin BLAGOJEVIĆ<sup>1)</sup>, Milica TRIFKOVIĆ<sup>1)</sup>,  
Nedeljko SUDAR<sup>1)</sup>, Jasna PLAVŠIĆ<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Institute for Water Management Bijeljina, <sup>2)</sup> University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering

### Summary

Data and reports show that the frequency of extreme weather situations is increasing, resulting in significant economic damage and loss. Traditional methods for eliminating these hazards are necessary but they are often too narrowly designed and mainly refer to improving the technical performance of defence systems. However, it is becoming increasingly socially relevant that hydraulic engineering and water management solutions also consider the sustainable development of regions and cities. This should be achieved by implementing nature-based solutions (NBS).

In the countries of Southeast Europe, such as Serbia or Bosnia and Herzegovina, there is a great need for a sustainable reduction of hydrometeorological hazards and risks, especially droughts, floods, and landslides. The possibilities of improving and expanding the existing infrastructure to mitigate these risks using the NBS approach are increasingly being considered and thoroughly explored. However, reliable data and information are rarely or only occasionally available, while the knowledge and awareness of people and institutions are usually insufficient. There is a need for a consolidated scientific analysis of NBS potential, as well as an approach to the implementation of NBS in regions that have so far had little experience with this approach. A special challenge is the evaluation of appropriate measures.

The general goal of new research in the prevention of hydrometeorological risks is the development and implementation of methods and approaches for analysing the potential of nature-based solutions. The focus is on large and long-term measures (e.g. creating more „room for the river“) or their combination with existing infrastructure. The overarching goal of new research is to reduce the consequences of extreme hydrometeorological events and, at the same time, achieve favourable effects (co-benefits) for nature and society.

The pilot area analysed in this paper is the Vrbanja basin in the Republika Srpska (Bosnia and Herzegovina), which is faced with significant risks of floods and landslides and low data availability. The key contribution of the implemented activities is the consolidated analysis of NBS in the Vrbanja basin to further improve methodological approaches for assessing the NBS potential. The NBS were selected from the catalogue of the RECONNECT project. Simulations in the hydrological and hydraulic model confirmed the favourable effects of the planned flood protection measures.

Key words: hydrometeorological risks, nature-based solutions (NBS), analysis of the potential of NBS application in data-scarce river basins