

## Ekonomsko vrednovanje mera za zaštitu od poplava na slivu reke Tamnave

Ranko S. Pudar<sup>1</sup>  
Jasna Plavšić<sup>2</sup>

APSTRAKT: U radu se razmatraju mere zaštite od poplava na slivu reke Tamnave i njihovo ekonomsko vrednovanje pomoću razvijenog modela šteta fine rezolucije. Štete od poplava su procenjene za tri moguća scenarija zaštite (sive, zelene i sivo-zelene mere), kao i za referentno stanje zaštite iz 2014. godine. Smanjenje gubitaka tj. šteta u odnosu na referentno stanje smatra se koristima od određenog scenarija zaštite. Razvijeni model šteta se zasniva na kartama ugroženosti i detaljnim podacima o najvažnijim receptorima rizika. Rezultati su pokazali da planirane retenzije kao aktivne zelene mere zaštite značajno smanjuju štete od poplava. Planirano nadvišenje postojećih nasipa primenjeno bez retenzija donosi manje koristi u smislu izbegnite štete, dok u kombinaciji sa retenzijama praktično ne donosi nikakve koristi. Pokazano je da su predložena metodologija i mikro model šteta primenljivi za razmatranje efekata različitih vrsta mera u savremenom pristupu zaštite od poplava u kome se akcenat stavlja na zelene mere i prirodi bliska rešenja.

Ključne reči: zaštita od poplava, rizik od poplava, štete od poplava, ekonomsko vrednovanje

## Economic valuation of flood mitigation measures in the Tamnava River watershed

ABSTRACT: The research investigates various flood protection measures within Tamnava River watershed, and their quantitative valuation using a fine resolution (micro-scale) damage model. Flood-related losses are evaluated through three possible flood protection scenarios (based on grey, green, and grey-green infrastructure), with the 2014 flood protection system used as a reference. Scenarios are evaluated for a wide range of recurrence interval events, from 2-year to 1,000-year floods. Benefits for each flood protection (mitigation) scenario are quantified as reduction of economic losses in comparison with the referent (2014) flood protection system. The flood model used in the research is based on flood risk (inundation) maps and high-resolution damage calculations for major natural, man-made, and social assets. The results show that the use of large-scale detention basins as green infrastructure measures yields the highest reduction of flood losses. In absence of other mitigation actions, a conventional, measured heightening of the existing levees produces lower benefits in terms of avoided damages. When applied in conjunction with detention basins, the levee heightening approach yields minimal to no benefits. The research demonstrates that the proposed evaluation methodology and micro-scale flood damage modelling can be effectively applied in a modern approach to flood mitigation, where the emphasis is placed on green infrastructure and nature-based solutions.

Keywords: flood mitigation measures, flood risk, flood damage, quantitative valuation of flood damage

---

<sup>1</sup>Mr Ranko S. Pudar, Pudar Mitigation Consulting, Inc., P.O. Box 680725, Marietta, Georgia 30068, USA, [ranko\\_pudar@pudarconsulting.com](mailto:ranko_pudar@pudarconsulting.com)

<sup>2</sup> Prof. dr Jasna Plavšić, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, [jplavsic@grf.bg.ac.rs](mailto:jplavsic@grf.bg.ac.rs)

## 1 Uvod

Zaštita od poplava se tradicionalno zasniva na investicionim merama kojima se smanjuje prirodni rizik od štetnog dejstva velikih voda. Većina tih tradicionalnih mera, kao što je izgradnja betonskih propusta, kanala ili nasipa, danas se naziva sivom infrastrukturom. Pored toga što siva infrastruktura zahteva održavanje uz visoke troškove, ona može da dovede do degradacije lokalnih i regionalnih ekosistema i njihovih funkcija (Depietri & McPhearson, 2017). Savremene tendencije kojima se nastoji da se prevaziđu nedostaci tradicionalne sive infrastrukture zagovaraju primenu tzv. zelene infrastrukture i tzv. prirodi bliskih rešenja za zaštitu od poplava (Ruangpan et al., 2020). Primeri takvih rešenja uključuju korišćenje rečnih inundacija (korita za velike vode), prirodnih retenzionih prostora ili mokrih staništa za zadržavanje velikih voda i smanjenje nizvodnog rizika od plavljenja. Zelena infrastruktura i prirodi bliska rešenja ne samo što mogu zahtevati manja ulaganja (Cohen et al., 2012), već mogu doneti i čitav niz dodatnih koristi za životnu sredinu i u socio-ekonomskim aspektima (Vojinovic et al., 2016).

Istraživanja u ovoj oblasti su najpre bila fokusirana na primenu zelenih mera za smanjenje rizika od kišnog oticaja u urbanim sredinama, kao što su zeleni krovovi, zeleni zidovi, kišne bašte, infiltracioni rovovi i slično. Ove mere bi se mogle okarakterisati kao mikro mere, kojima se lokalno utiče na formiranje kišnog oticaja. U ruralnim i prirodnim sredinama koje treba braniti od rečnih poplava rešenja za zaštitu su znatno šireg karaktera i mogu se prostirati preko celog slivnog područja. U zavisnosti od lokalnih uslova i željenog stepena zaštite, rešenja mogu biti raznovrsna i mogu da obuhvate različite kombinacije zelenih i sivih mera. Izbor najbolje (ili optimalne) strategije za smanjenje rizika od poplava na nekom slivu tada se zasniva na kvantitativnom vrednovanju različitih rešenja kroz procenu smanjenja rizika od poplava sa pretpostavljenim zaštitnim merama.

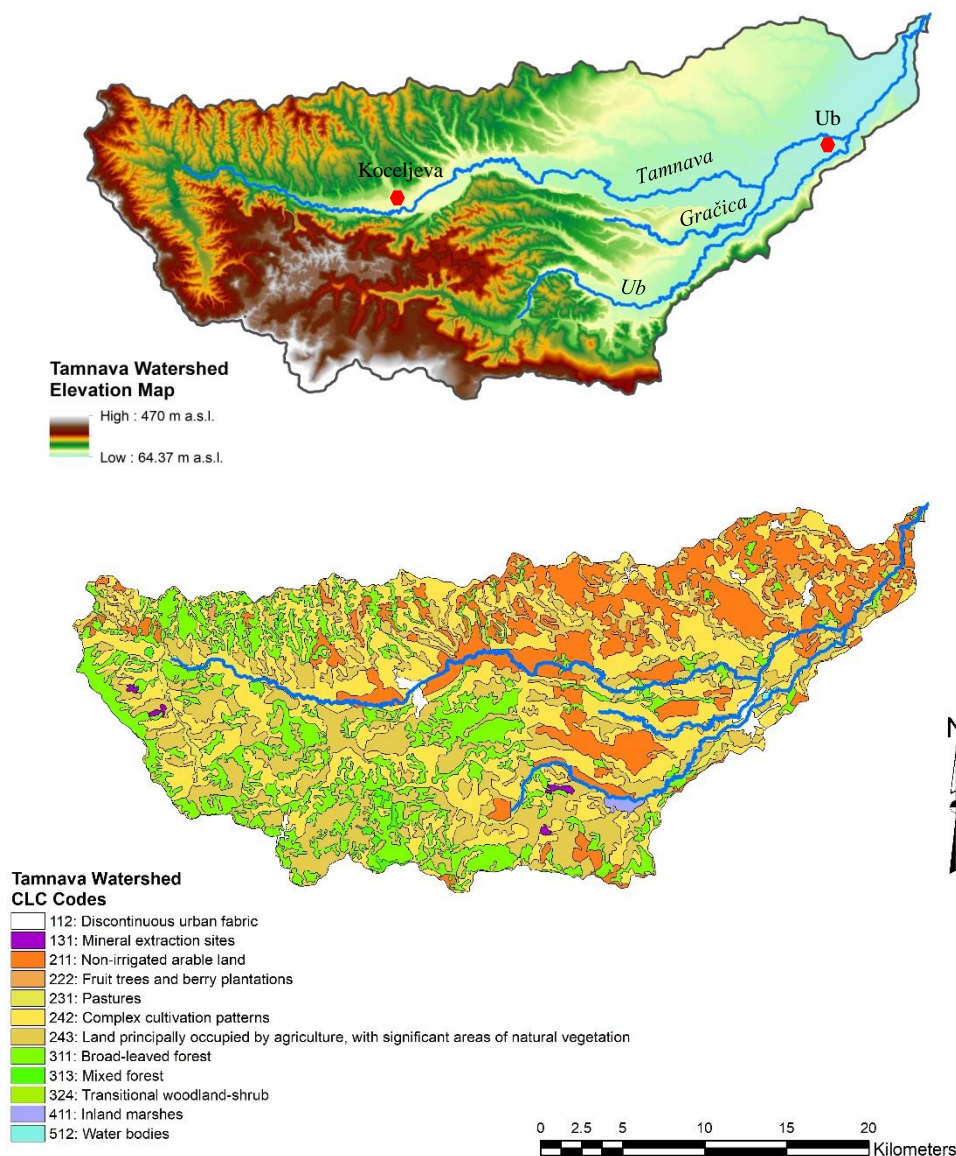
U ovom radu razmatraju se mere zaštite od poplava na slivu reke Tamnave. Za njihovo ekonomsko vrednovanje razvijen je model šteta fine rezolucije. Razmatrani su ekonomski gubici usled poplava pod pretpostavkom tri moguća scenarija zaštite (sive, zelene i sivo-zelene mere), kao i za referentno stanje zaštite iz 2014. godine. Smanjenje gubitaka tj. šteta u odnosu na referentno stanje smatra se koristima od određenog scenarija zaštite. Razvijeni model šteta se zasniva na kartama ugroženosti i detaljnim podacima o najvažnijim receptorima rizika. Model je detaljno opisan u prethodnim radovima autora (Pudar et al., 2020; Pudar, 2021), dok se ovde daje kraći prikaz metodologije i rezultata.

## 2 Opis sliva i scenarija za zaštitu od poplava

Reka Tamnava je poslednja značajna leva pritoka Kolubare i pruža se u pravcu zapad-istok u dužini od oko 68 km, sa slivnom površinom od 726 km<sup>2</sup> (slika 1). Njena najveća pritoka je reka Ub (dužine 46 km), dok je od značaja i pritoka Gračica koja se u Tamnavu uliva u zoni grada Uba. Ostale pritoke su u najvećem broju bujični vodotokovi kojima se oticaj sa padina brda na obodu sliva Tamnave drenira ka njenoj ravnoj dolini. Sliv Tamnave je uglavnom ruralna oblast sa oko 80% poljoprivrednog zemljišta, dok veoma mali deo sliva čine urbane sredine koncentrisane u Ubu i Koceljevi.

Poplave na slivu reke Tamnave su česte, kao i na celom slivu reke Kolubare. Najveća poplava, koja je zahvatila ceo region zapadnog Balkana i koja je bila posledica dugotrajnih i obilnih padavina (Plavšić et al., 2014; Zlatanović i Prohaska, 2014), bila je u maju 2014. godine i donela je ogromne štete. Tokom ove poplave na Tamnavi i na Ubu zabeleženi su maksimalni protoci od 178 m<sup>3</sup>/s odnosno 146 m<sup>3</sup>/s, dok su prosečni protoci ovih reka oko 1 m<sup>3</sup>/s.

Postojeći sistem zaštite od poplava na slivu Tamnave sastoji se nasipa u naseljenim područjima koji su projektovani na 50-godišnje i 100-godišnje velike vode, kao i nasipa za zaštitu od 25-godišnjih velikih voda u nekim poljoprivrednim zonama. Nakon poplava iz 2014. godine urađena je obimna studija unapređenja zaštite od poplava na slivu Kolubare (UNDP, 2016; u daljem tekstu „Studija Kolubara“), koja je detaljno analizirala poplavni događaj iz 2014. i predložila nove mere zaštite za ceo sliv Kolubare.



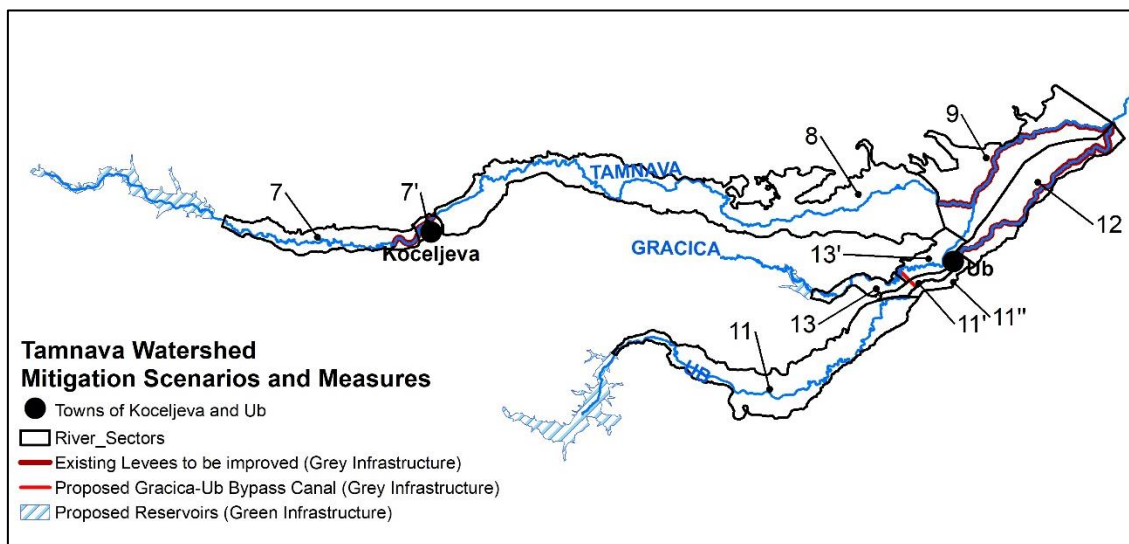
Slika 1. Sliv reke Tamnave sa prikazom reljefa i položajem dva urbana centra (gore) i zemljišnim pokrivačem prema CORINE Land Cover iz 2012. (dole).

U „Studiji Kolubara“ na slivu Tamnave predložena je izgradnja tri retenzije u gornjim tokovima Tamnave, Uba i Gračice, zatim nadvišenje svih postojećih nasipa do 100-godišnje velike vode, izgradnja rasteretnog kanala od Gračice ka reci Ub (slika 2), kao i anti-erozioni radovi u gornjem delu sliva. Do danas je realizovan samo ovaj rasteretni kanal. Na slici 2 i u tabeli 1 prikazana je podela dolina Tamnave i Uba na deonice različitih karakteristika, koja je preuzeta iz „Studije Kolubare“.

U ovom radu se razmatraju sve mere zaštite koje su predložene u „Studiji Kolubara“ osim anti-erozionih radova u gornjem delu sliva, dok se za referentno stanje usvaja stanje iz 2014. godine. Na taj način rasteretni kanal se smatra planiranom merom, a ne delom postojećeg stanja. Postojeće i predložene mere su razvrstane u sive i zelene mere i razmatraju se u okviru četiri različita scenarija za zaštitu od poplava:

- referentni scenario, koji obuhvata postojeće nasipe kao mere zaštite;
- sivi scenario, koji podrazumeva nadvišenje postojećih nasipa i rasteretni kanal Gračica-Ub;

- *zeleni scenario*, koji podrazumeva postojeće nasipe i izgradnju tri retenzije na Tamnavi, Ubu i Gračici;
- *sivo-zeleni scenario*, koji uključuje sve planirane mere (nadvišenje nasipa, rasteretni kanal i tri retenzije).



Slika 2. Shematski prikaz mera zaštite od poplava na slivu Tamnave sa položajem nasipa, rasteretnog kanala Gračica-Ub i planiranih retenzija. Brojevi se odnose na rečne deonice (prema “Studiji Kolubara”).

Tabela 1. Karakteristične deonice Tamnave, Uba i Gračice (površine sektora se odnose na maksimalne potencijalne plavne zone).

Deonica	Vodotok	Površina sektora [ha]	Opis	Učešće poljoprivrednih površina [%]
7	Tamnava	573.20	Ruralno	99.86%
7'	Tamnava	75.28	Urbano	35.18%
8	Tamnava	3,184.30	Ruralno	91.22%
9	Tamnava	1,429.02	Ruralno	92.72%
11	Ub	1,384.33	Ruralno	85.25%
11'	Ub	103.75	Urbano	82.07%
11''	Ub	101.16	Urbano	43.99%
12	Ub	859.49	Ruralno	94.28%
13	Gračica	173.23	Ruralno	100.00%
13'	Gračica	244.58	Peri-urbano	71.09%

### 3 Mikro model rizika od poplava

Procena rizika od poplava za neko područje je jedan od najvažnijih koraka u analizi mera za zaštitu od poplava i preduslov za izradu planova upravljanja rizikom od poplava. Rizik od poplava se može odrediti za neki konkretan poplavni događaj iz prošlosti, ili za neku računsku veliku vodu određene verovatnoće pojave odnosno povratnog perioda.

U analizi rizika od poplava posebno se razmatraju pojedine komponente rizika, kao što su ugroženost (hazard) i ranjivost (receptori rizika). Rezultat analize ugroženosti su karte ugroženosti (ili karte plavnih zona), koje pokazuju granice plavnog područja i dubine i brzine plavljenja za određeni poplavni događaj (Jovanović i sar., 2014). Karte ugroženosti se dobijaju na osnovu simulacija

hidrološkim i hidrauličkim modelima. U ovom radu karte ugroženosti su preuzete iz „Studije Kolubara“ za niz različitih poplavnih događaja: za poplavu iz maja 2014. godine, i za računске velike vode povratnih perioda 2, 10, 20, 50, 100, 200 i 1000 godina.

Identifikacija receptora rizika na slivu Tamnave, odnosno objekata i subjekata koji su izloženi riziku od poplava je sledeći korak u proceni šteta od poplava. U opštem slučaju, štete i gubici od poplava se dele na direktne i indirektne (Jovanović i sar., 2009; Merz et al., 2010). Direktne gubici se odnose na sve ugrožene kategorije receptora koji mogu pretrpeti štetu ili biti uništeni tokom poplave, a indirektni gubici se odnose na one kategorije receptora koje tokom poplava gube ili imaju smanjenu funkcionalnost (npr. gubici u proizvodnji, prekid saobraćaja, prekid zdravstvenih usluga). Identifikacija svih ugroženih kategorija receptora je zahtevan zadatak. U ovom radu izabran je određen broj kategorija koje imaju najveći udeo u ukupnim gubicima, tako da konačna procena šteta ne bude značajno potcenjena. S druge strane, izabrane kategorije receptora su analizirane veoma detaljno tako što je svaki objekat unutar plavnih zona sa svojim karakteristikama posebno identifikovan i uziman u proračun.

Štete i gubici za svaku kategoriju receptora rizika se analiziraju u odnosu na intenzitet poplave, odnosno prema dubini plavljenja za određeni povratni period poplave i određeni scenario zaštite od poplava na slivu. S obzirom da su receptori definisani detaljno, u finoj rezoluciji, dobijaju se i detaljni rezultati ekonomskih gubitaka od poplava. Celokupan postupak se stoga naziva mikro model rizika od poplava. U nastavku se opisuju postupci identifikacije receptora i procene šteta u okviru ovog modela.

### 3.1 Identifikacija receptora i procena šteta

Sledeće kategorije receptora rizika od poplava su obrađene za sliv Tamnave:

- zgrade (stambene i javne),
- inventar u zgradama (pokućstvo, oprema),
- poljoprivredna proizvodnja (ratarstvo i voćarstvo),
- putna infrastruktura,
- stanovništvo ugroženo plavljenjem (evakuacija i privremeno raseljavanje).

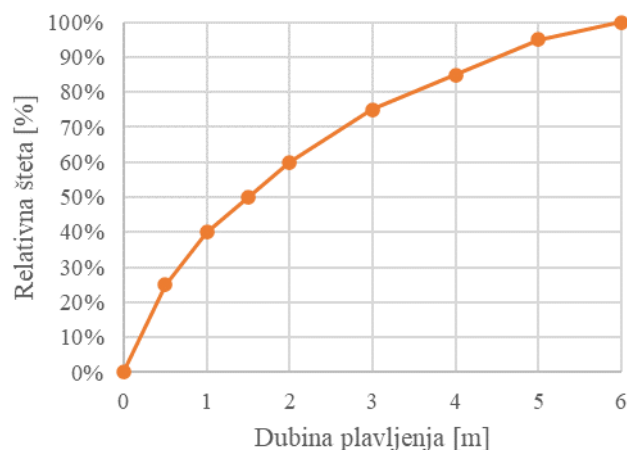
#### 3.1.1 Zgrade i njihov inventar

Korišćenjem fotogrametrijskih snimaka identifikovano je oko 6000 stalnih objekata unutar maksimalne potencijalne plavne zone u dolinama Tamnave i Uba. Štete na objektima su procenjene pomoću bezdimenzionalnih krivih šteta (zavisnosti šteta od dubine plavljenja), a koje pokazuju štete kao procenat maksimalne potencijalne štete, odnosno vrednosti zamene uništenog objekta novim. Bezdimenzionalne krive šteta su usvojene iz globalne baze ovih krivih (Huizinga et al., 2017), dok su vrednosti maksimalnih potencijalni šteta prilagođeni Srbiji i korigovani za stopu inflacije. Vrste objekata i njihovo stanje su utvrđeni na terenu, na osnovu čega su krive šteta iz literature modifikovane za starije objekte tako što je njihova maksimalna potencijalna šteta smanjena za 50%. Primer krivih šteta za stambene objekte je prikazana na slici 3. U tabeli 2 prikazane su vrste identifikovanih objekata sa procentualnim učešćem i maksimalnom potencijalnom štetom.

Štete i gubici vezani za inventar (sadržaj) objekata procenjeni su koristeći isti oblik krivih šteta kao za odgovarajuću vrstu objekta, dok se maksimalna potencijalna šteta za sadržaj objekata kreće od 50% do 150% vrednosti maksimalne potencijalne štete za sam objekat iste vrste (tabela 2).

Tabela 2. Vrste objekata i njihove maksimalne potencijalne štete.

Vrsta objekta	Zastupljenost (%)	Maksimalna šteta (€/m <sup>2</sup> )	
		Konstrukcija	Inventar
Stambeni	63.5%	203 – 271	101 – 136
Poljoprivredni	27.8%	149 – 298	75 – 298
Komercijalni, obrazovni, upravni	6.4%	298	298
Industrijski	2.3%	207	310

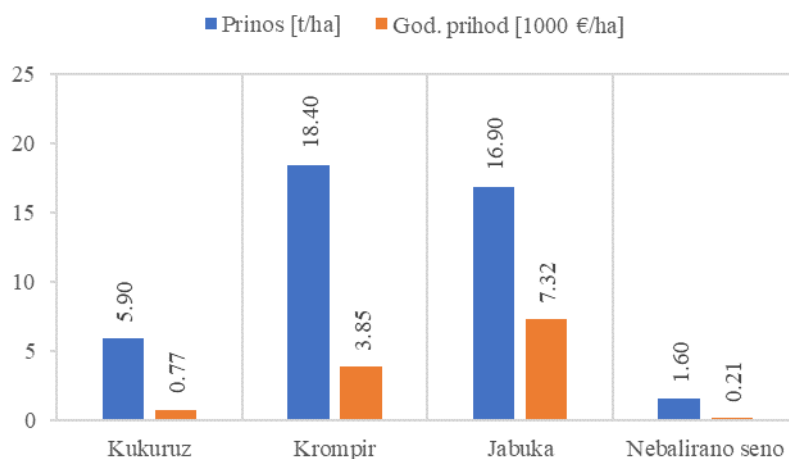


Slika 3. Kriva šteta za stambene objekte u zavisnosti od dubine plavljenja u bezdimenzionalnom obliku (u odnosu na maksimalnu potencijalnu štetu).

### 3.1.2 Poljoprivredna proizvodnja

Osnovna poljoprivredna delatnost na slivu Tamnave je ratarska i voćarska proizvodnja, a prema „Studiji Kolubara“ glavne kulture su kukuruz, krompir, jabuka i nebalirano seno. Najveća potencijalna šteta za poljoprivrednu proizvodnju izražava se kao prihod od te proizvodnje. U vezi sa ovom procenom uvedeno je nekoliko pretpostavki: a) stepen ranjivosti kultura ne zavisi od sezone u kojoj se javlja poplava, b) prinosi ovih kultura se ne menjaju kroz vreme, i c) cene otkupa kultura su konstantne. Podaci o prinosima i cenama otkupa preuzeti su iz „Studije Kolubara“, dok su cene korigovane u odnosu na stopu inflacije (slika 4).

Štete koje poplave mogu naneti proizvodnji kukuruza i jabuka zavise od dubine plavljenja i vremena koje kulture provedu pod vodom. Za ove kulture štete su prilagođene dubinama plavljenja prema tragovima velikih voda uočenim na terenu. Za krompir i nebalirano seno je usvojeno da dolazi do totalne štete bez obzira na dubinu plavljenja.



Slika 4. Štete u poljoprivrednoj proizvodnji: prosečni prinosi i prosečni godišnji prihodi od otkupa kao maksimalne potencijalne štete.

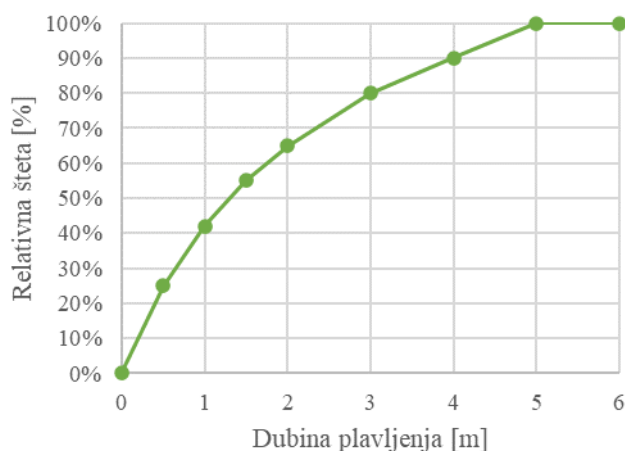
### 3.1.3 Putna infrastruktura

Saobraćajna infrastruktura može pretrpeti različite štete od poplava, kako direktne tako i indirektne štete u smislu gubitka funkcije. U ovom radu razmatrana je samo putna mreža (ne postoji drugi vid saobraćaja na slivu). Direktne štete na putevima najčešće nastaju pod dejstvom hidrodinamičkih sila bujičnih poplava i visokog vodostaja, a tipične lokacije oštećenja su u zonama mostova i propusta (slika 5). Oštećenja na putevima mogu nastati i usled pojave klizišta ili stenskih odrona, ili usled naleta krupnog granja i drugog krupnog otpada koji voda nosi, naročito na manjim bujičnim vodotokovima. Ako su putevi dugo pod vodom pri dugotrajnijim poplavama, konstruktivna stabilnost puta može biti ugrožena.

U ovom radu analizirano je potencijalno plavljenje na državnoj putnoj mreži na slivu Tamnave u ukupnoj dužini od 296 km. Pored ovih puteva, na slivu postoje mnogobrojni drugi putevi koji ili nisu kategorisani ili su samo zemljani putevi, pa je za njih izuzetno teško proceniti štete. Za razmatrane puteve su korišćene bezdimenzionalne krive šteta iz globalne baze podataka (Huizinga et al., 2017; slika 6), dok je maksimalna potencijalna šteta iz literature prilagođena prema cenama izgradnje puteva u Srbiji (usvojena je konzervativna jedinična cena od 25 €/m<sup>2</sup>, odnosno 200.000 €/km za tipične širine puteva na slivu Tamnave).



Slika 5. Oštećen put blizu Koceljeve u maju 2014. godine  
(izvor: [www.koceljeva.gov.rs/index\\_files/htm/Poplave%20galerija.htm](http://www.koceljeva.gov.rs/index_files/htm/Poplave%20galerija.htm)).

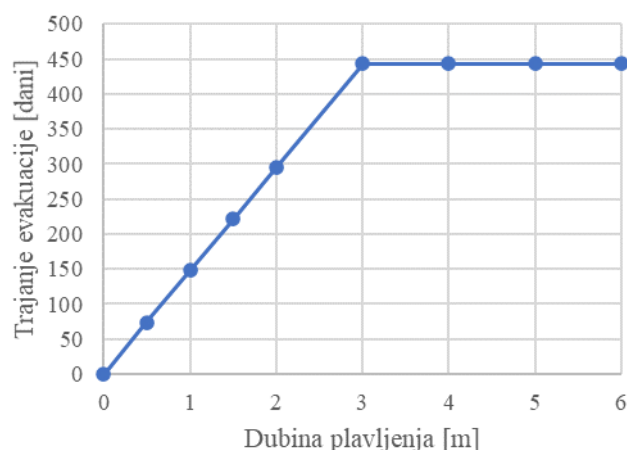


Slika 6. Kriva šteta za puteve u zavisnosti od dubine plavljenja u bezdimenzionanom obliku (u odnosu na maksimalnu potencijalnu štetu).

### 3.1.4 Stanovništvo ugroženo poplavama

Stanovništvo može biti ugroženo poplavama na različite načine. Na primer, stanovništvu može da preti opasnost od rušenja oštećenih objekata ili da bude ugroženo zdravlje, ili može doći do prekida ili smanjenja određenih servisa odnosno usluga (snabdevanje strujom, vodom, itd.). Neposredna opasnost može dovesti i do hitne evakuacije ljudi iz poplavljene oblasti, što takođe podrazumeva značajne troškove.

U ovom radu se ranjivost stanovništva kao receptora rizika meri kroz trajanje evakuacije, koje zavisi od veličine i intenziteta poplave, ali i od vremena da se poplavljena naselja ponovo osposobe za stanovanje. Trajanje evakuacije je stoga proporcionalno dubini plavljenja, prema zavisnosti iz literature (FEMA, 2011; slika 7). Troškovi evakuacije bi u opštem slučaju uključili jednokratne troškove same evakuacije i troškove privremenog smeštaja koji zavise od trajanja. U ovom radu uzeti su u obzir samo ovi drugi troškovi, koji su procenjeni na oko 10 € po osobi dnevno; UNHCR, 2020). Broj stanovnika koji je potencijalno direktno izložen poplavama preuzet je iz „Studije Kolubara“. U maksimalnoj potencijalnoj plavnoj zoni ima 9155 stanovnika i 3800 stambenih objekata (ili u proseku 2,41 stanovnik po stambenom objektu).



Slika 7. Trajanje evakuacije i izmeštanja stanovništva u funkciji od dubine plavljenja (prema 4).

### 3.2 Ukupni gubici i dobiti od mera zaštite od poplava

Za određeni scenario (skup mera) zaštite od poplava, ukupni gubici obuhvataju štete za sve receptore rizika i određuju se za određenu verovatnoću plavljenja. Kada se ukupni gubici izračunaju za veći broj verovatnoća plavljenja (tj. za više povratnih perioda), dobija se približna raspodela verovatnoće šteta od poplava za izabrani scenario zaštite. Uobičajeno je da se na osnovu takve približne raspodele šteta odredi njena očekivana godišnja vrednost EAD (engl. *expected annual damage*) kao osnovni pokazatelj (Rosić i Jovanović, 2008). Očekivana godišnja šteta se približno računa kao zbir proizvoda šteta  $D_i$  i verovatnoća godišnjeg prevazilaženja  $p_i$ :

$$EAD = \sum_{i=1}^M D_i p_i$$

gde je  $M$  broj različitih verovatnoća prevazilaženja  $p_i$  velike vode za koju su određene štete  $D_i$ .

Efekat nekog scenarija zaštite može se meriti smanjenjem šteta (tj. izbegnutim štetama) za taj scenario u odnosu na referentni scenario. Ako se štete od poplava pod referentnim scenariom označe sa



$D_0$ , a štete pod nekim scenarijom  $S$  označe sa  $D_S$ , tada razlika između tih šteta predstavlja uštedu odnosno korist od mera zaštite od poplava iz scenarija  $S$ :

$$B_S = D_0 - D_S$$

Očekivana godišnja korist  $EAB$  (engl. *expected annual benefit*) od scenarija  $S$  se može takođe odrediti na osnovu  $M$  razmatranih verovatnoća prevazilaženja  $p_i$  (odnosno povratnih perioda  $T_i = 1/p_i$ ), i na osnovu  $L$  razmatranih kategorija receptora rizika:

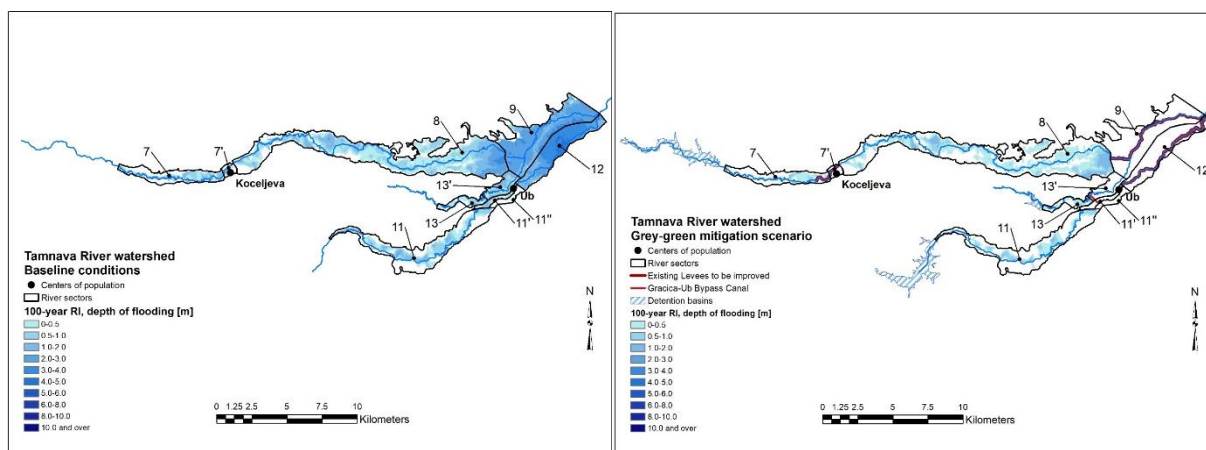
$$EAB_S = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^L (D_{0,i,j} - D_{S,i,j}) p_i$$

gde je  $EAB_S$  očekivana godišnja korist za scenario  $S$ ,  $D_{0,i,j}$  je šteta od poplave verovatnoće  $p_i$  za kategoriju receptora rizika  $j$  za referentni scenario, dok je  $D_{S,i,j}$  odgovarajuća šteta za scenario zaštite  $S$ .

## 4 Rezultati i diskusija

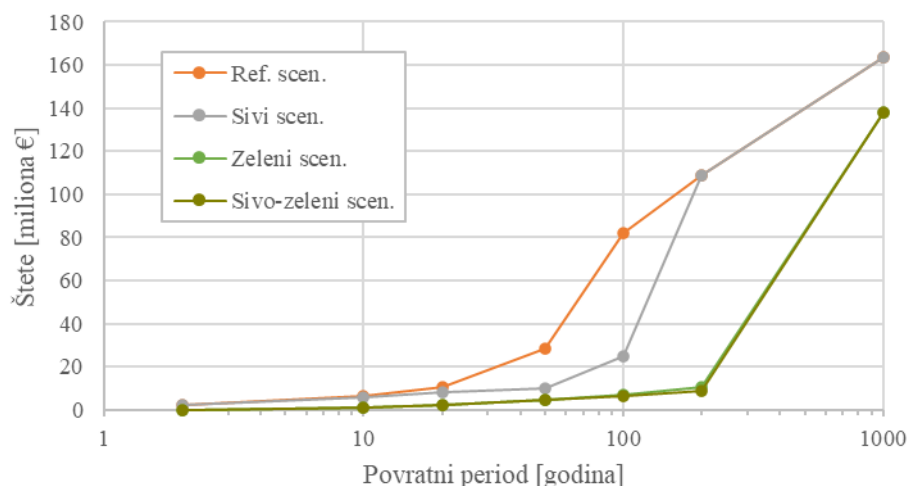
Opisana metodologija za proračun šteta, zasnovana na detaljnim podacima, primenjena je na plavne zone dobijene simulacijama hidrauličkim modelom razvijenim u okviru „Studije Kolubara“ za niz velikih voda povratnih perioda od 2 do 1000 godina i za sve razmatrane scenarije zaštite od poplava. Slika 8 ilustruje 100-godišnju plavnu zonu za referentni scenario i za sivo-zeleni scenario. Štete procenjene predloženim mikro modelom izračunate su za svaku jedinicu u prostornom modelu terena i dubina, rezolucije 1 m x 1 m, a potom agregirane (sabrane) na nivou deonica iz table 1 za lakše sagledavanje rezultata.

Ukupne štete za jedan povratni period i jedan scenario zaštite dobijene su sabiranjem šteta po svim kategorijama receptora rizika. Raspodele ukupnih šteta za sve scenarije prikazane su na slici 9. Ova slika pokazuje da sivi scenario (nadvišenje nasipa + rasteretni kanal) ima manje štete nego referentni scenario za povratne periode do 100 godina, na koje je projektovano nadvišenje nasipa. Zeleni scenario (retenzije) i sivo-zeleni scenario (sve predložene mere) imaju manje štete nego referentni scenario za sve razmatrane povratne periode zahvaljujući retenzijama koje su projektovane da prihvate poplavne talase povratnog perioda i do 1000 godina. Sivo-zeleni scenario je samo nešto povoljniji od zelenog, što ukazuje da planirano nadvišenje nasipa u kombinaciji sa retenzijama nema značajne dodatne efekte.



Slika 8. Prikaz dubina plavljenja za referentni scenario (levo) i za sivo-zeleni scenario (desno) pri 100-godišnjim velikim vodama.

# 19. Savetovanje SDHI i SDH - Beograd, Srbija 2021. Conference SDHI & SDH - Belgrade, Serbia 2021.

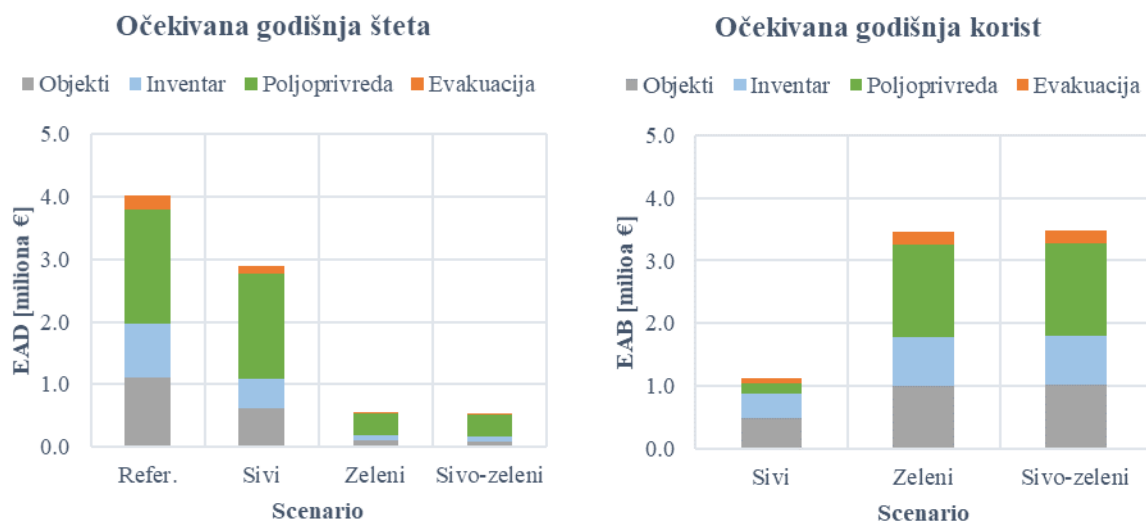


Slika 9. Raspodele šteta od poplava na slivu Tamnave za referentni scenario zaštite i tri scenarija planiranih mera.

Očekivane godišnje štete (EAD) sa strukturom po kategorijama receptora rizika su prikazane na levom dijagramu na slici 10 za sve scenarije. Na istoj slici na desnom dijagramu prikazana je očekivana godišnja korist (EAB) za tri scenarija planiranih mera u odnosu na referentni scenario. Ova veličina predstavlja očekivano smanjenje šteta ako bi se te mere realizovale.

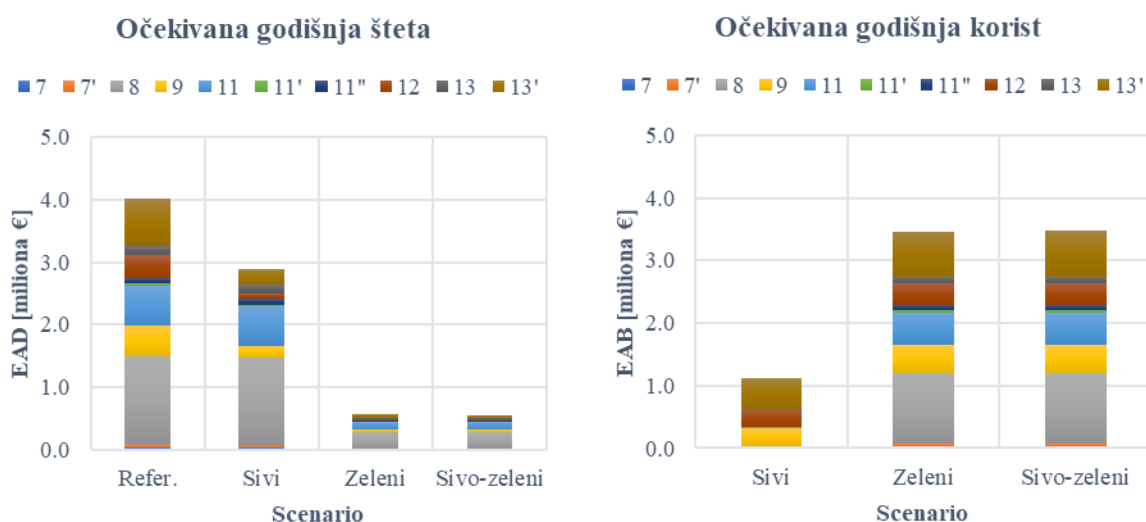
Najveći udeo u štetama prema svim scenarijima imaju štete u poljoprivrednoj proizvodnji, što je očekivano s obzirom da poljoprivredno zemljište dominira na slivu Tamnave. S druge strane, sa gledišta smanjenja šteta od poplava, za poljoprivrednu proizvodnju najveće koristi u zaštiti od poplava imaju zeleni i sivo-zeleni scenario.

Štete na objektima i njihovom inventaru su najveće u referentnom scenariju, u sivom scenariju su skoro prepolovljene, dok su u ostalim scenarijima su značajno smanjene. To pokazuje i desni dijagram na slici 10, gde se smanjenje tih šteta jasno vidi. Ova značajna izbegnuta šteta na objektima u zelenom i sivo-zelenom scenariju je rezultat zadržavanja poplavnih talasa u planiranim retenzijama koje su locirane uzvodno od naselja (Koceljeve i Uba) u kojima su objekti najbrojniji i najvredniji.



Slika 10. Očekivane godišnje štete od poplava (levo) i koristi tj. smanjenje šteta (desno) po kategorijama receptora rizika.

Slika 11 pokazuje očekivane godišnje štete i koristi (EAD i EAB) u pojedinim sektorima (rečnim deonicama). U referentnom scenariju najveće štete nastaju u sektoru 8, koji predstavlja ruralni sektor najveće površine među svim sektorima i koji u tom scenariju (u sadašnjim uslovima) nema nikakve mere zaštite pa je izložen najvećem riziku od poplava. Ruralni sektor 11 zauzima manju površinu, ali u referentnom scenariju takođe ima značajne štete jer nema nikakvu zaštitu. Ova dva sektora (8 i 11) imaju velike štete i u sivom scenariju koji ne predviđa mere zaštite na njima, dok bi tu do značajnog smanjenja šteta došlo samo pod zelenim i sivo-zelenim scenarijom. Koristi od sivog scenarija postoje samo u urbanizovanim sektorima 12 i 13' i ruralnom sektoru 9, na kojima je planirano nadvišenje postojećih nasipa. Najviše koristi od zelenog i sivo-zelenog scenarija zaštite imaju ruralni sektori 8, 9 i 11, ali su koristi vidljive i u urbanizovanim sektorima 12 i 13'.



Slika 11. Očekivane godišnje štete od poplava (levo) i koristi tj. smanjenje šteta (desno) po rečnim deonicama.

Svi rezultati pokazuju da zelene mere (retenzije) u zelenom i sivo-zelenom scenariju zaštite donose veću korist (veće smanjenje šteta) za poljoprivredne površine koje trenutno nemaju nikakvu zaštitu od poplava. Prednost sivo-zelenog scenarija u odnosu na zeleni je veoma mala i praktično zanemarljiva, što ukazuje da nadvišenje nasipa ima znatno manji efekat nego retenzije na smanjenje rizika od poplava u sektorima nizvodno od retenzija.

U „Studiji Kolubara“ procena potencijalnih šteta je sprovedena drugačijom metodologijom i sa donekle drugačijim receptorima rizika. Štete su računane za plavnu zonu koja je dobijena hidrološko-hidrauličkom rekonstrukcijom poplave iz 2014. godine. Tako procenjene štete se mogu vezati samo za verovatnoću pojave događaja iz 2014. godine (ocenjenu u Studiji na povratni period između 200 i 380 godina) i ne predstavljaju očekivanu godišnju štetu, zbog čega nisu direktno uporedive sa rezultatima iz ovog rada. Poređenje se može napraviti za stambene objekte i njihov inventar i za poljoprivrednu proizvodnju. Za potrebe poređenja i verifikacije, u ovom radu je izvršena simulacija šteta razvijenim mikro modelom za plavnu zonu iz 2014. godine. Dobijena je šteta na stambenim objektima od oko 37,9 miliona €, dok je odgovarajuća šteta u „Studiji Kolubara“ procenjena na oko 36,8 miliona € (razlika je oko 2.5%). Za štete u poljoprivredi dobijena je praktično ista vrednost kao u „Studiji Kolubara“ (11,114 miliona € u ovom radu i 11,110 miliona € u Studiji). Zbog različitih metodologija i izbora receptora, razlike su značajne u proceni ukupne štete za 2014. godinu: one su u ovom radu procenjene na 98,2 miliona €, dok su u „Studiji Kolubara“ procenjene na 73,2 miliona €.

## 5 Zaključci

Na primeru sliva reke Tamnave, koji predstavlja mali ruralni sliv na kome dominira poljoprivredna proizvodnja, prikazano je kako se razvijeni mikro model za procenu šteta od poplava može primeniti za razmatranje efekata različitih mera zaštite od poplava kroz njihovo ekonomsko vrednovanje. Ta vrsta analize predstavlja „jednu stranu jednačine“ u sveobuhvatnoj analizi isplativosti (cost-benefit analizi) u procesu identifikacije optimalnog rešenja za zaštitu od poplava među više razmatranih alternativnih rešenja. Proračunom šteta od poplava pod određenim scenariom zaštite u odnosu na štete u nekom referentnom scenariju (bez unapređenja zaštite) taj scenario se može ekonomski vrednovati preko izbegnute štete.

U ovom radu planirane mere zaštite od poplava na slivu Tamnave su razdvojene na zelene i na sive mere i razmatrane su kao posebne alternative, dok je dodatno analizirana i varijanta sa kombinacijom sivih i zelenih mera. Time je pokazano da su predložena metodologija i mikro model šteta primenljivi za razmatranje efekata različitih vrsta mera u savremenom pristupu zaštite od poplava u kome se akcenat stavlja na zelene mere i prirodni bliska rešenja.

Ekonomsko vrednovanje alternativnih rešenja zaštite od poplava na slivu Tamnave je pokazalo da svi razmatrani scenariji daju smanjenje šteta u odnosu na referentno stanje, ali da zeleni i sivo-zeleni scenario obezbeđuju veću korist, odnosno veće izbegnute štete, nego sivi scenario. Najveću korist od zelenog i sivo-zelenog scenarija imaju poljoprivredne površine, koje su na slivu Tamnave najzastupljenije. Ovo je važan zaključak imajući u vidu da se poljoprivredne površine često smatraju manje vrednim od urbanih područja. Međutim, na ruralnim slivovima na kojima poljoprivredne površine dominiraju, one postaju značajan faktor i njihova zaštita donosi značajne uštede. Takođe, koristi od retenzija kao zelenih mera su najveće na rečnim deonicama u poljoprivrednim područjima na kojima u sadašnjem stanju ne postoji zaštita ili postoje niski nasipi koji donose veoma malu korist. Kombinovani sivo-zeleni scenario (koji objedinjuje retenzije, nadvišenja nasipa i rasteretni kanal) daje praktično zanemarljivo veće koristi od zelenog scenarija (samo retenzije) samo zahvaljujući rasteretnom kanalu. To pokazuje da nadvišenje nasipa, kao lokalna zaštita, ne donosi korist ako se kombinuje sa retenzijama koje značajno redukuju maksimume poplavnih talasa i tako obezbeđuju zaštitu na svim nizvodnim deonicama. U tom smislu, treba podržati strateška opredeljenja ka aktivnim merama zaštite od poplava i niskom stepenu zaštite poljoprivrednih površina nasipima kako bi se ostavio prirodni prostor za prijem značajnijih velikih voda (Babić Mladenović i Kolarov, 2015).

Analize koje se bave procenom šteta od poplava često prate velike neizvesnosti vezane za različite segmente te analize: od neizvesnosti rezultata hidroloških i hidrauličkih simulacija, preko ograničenih prostornih podataka i podataka o receptorima rizika, do nesigurnosti u usvajanju jediničnih cena u proračunu šteta. Razvijeni mikro model šteta pomaže da se te neizvesnosti smanje. Jedan od izvora neizvesnosti je i izbor receptora rizika. U ovom radu štete su procenjene na ograničenom broju receptora, ali su izabrane najranjivije kategorije receptora koje imaju najveći udeo u ukupnim gubicima. Za štete procenjene takvim pristupom bi se moglo reći da predstavljaju donju granicu realnih šteta. Uključivanjem više kategorija receptora bi procenjene štete bile veće, ali bi se moglo očekivati da i koristi od nekog scenarija zaštite takođe budu veće u relativnom smislu.

Dalji razvoj prikazane metodologije za ekonomsko vrednovanje mera zaštite od poplava, koji je u toku, ide u pravcu vrednovanja i drugih koristi od zaštitnih mera osim direktnog smanjenja rizika od poplava. Cilj budućih istraživanja je da se u proces vrednovanja uključe i koristi pojedinih rešenja zaštite na životnu sredinu, funkcije ekosistema, socio-ekonomske parametre i dobrobit i zdravlje ljudi.

## Zahvalnica

Deo ovog istraživanja finansiran je iz programa istraživanja i inovacija Horizon 2020 Evropske Unije pod ugovorom br. 776866 za projekat RECONNECT (Regenerating ECOSystems with Nature-based solutions for hydro-meteorological risk rEduCTion). Rad odražava samo poglede autora i Evropska Unija nije odgovorna za bilo kakvo korišćenje informacija iz ovog rada. Rad na ovom

istraživanju je delimično podržalo i Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Srbije pod ugovorom br. 200092.

## Literatura

1. Babić Mladenović, M. i Kolarov, V. (2015) Smernice za unapređenje zaštite od poplava u Srbiji. *Vodoprivreda*, 47, 235-242.
2. Cohen, J.P., Field, R., Tafuri, A.N., & Ports, M.A. (2012) Cost Comparison of Conventional Gray Combined Sewer Overflow Control Infrastructure versus a Green/Gray Combination. *J. Irrig. Drain. Eng.*, **138**, 534–540.
3. Depietri, Y. & McPhearson, T. (2017) Integrating the Grey, Green, and Blue in Cities: Nature-Based Solutions for Climate Change Adaptation and Risk Reduction. In: *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas*, eds. Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., Bonn, A., Springer Open, Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 91–109.
4. FEMA (2011) Supplement to the Benefit-Cost Analysis Reference Guide, Federal Emergency Management Agency, Washington, USA.
5. Huizinga, J., Moel, H. de, & Szweczyk, W. (2017) *Global flood depth-damage functions. Methodology and the database with guidelines*, Joint Research Centre (European Commission), doi: 10.2760/16510.
6. Jovanović, M., Prodanović, D., Plavšić, J., Rosić, N., Srna, P., & Radovanović, M. (2014). Problemi pri izradi karata ugroženosti od poplava. *Vodoprivreda*, 46(1–6), 3–13.
7. Jovanović, M., Todorović A., Rodić, M. (2009) Kartiranje rizika od poplava. *Vodoprivreda*, 41, 31-45.
8. Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., & Thielen, A. (2010) Assessment of economic flood damage, *Natural Hazards and Earth System Sciences* **10**, 1697–1724.
9. Plavšić, J., Vladiković, D., & Despotović, J. (2014) Floods in the Sava River Basin in May 2014. Proc. Mediterranean Meeting on Monitoring, modelling, early warning of extreme events triggered by heavy rainfall, University of Calabria, Cosenza, Italy, E. Ferrari and P. Versace (eds.), pp. 241-251.
10. Pudar, R. (2021) Valuation of fluvial ecosystems restoration in function of flood risk mitigation, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet.
11. Pudar, R., Plavšić, J., & Todorović, A. (2020). Evaluation of Green and Grey Flood Mitigation Measures in Rural Watersheds. *Applied Sciences*, 10(19), 6913. <https://doi.org/10.3390/app10196913>
12. Rosić, N. i Jovanović, M. (2008) Stohastički pristup u određivanju šteta od poplava. *Vodoprivreda*, 40, 183–189.
13. 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. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **20**, 243–270.
14. UNDP Srbija (2016). Studija unapređenja zaštite od voda u slivu reke Kolubare, Institut “Jaroslav Černi” za UNDP Srbija i JVP “Srbijavode”: Beograd.
15. UNHCR (2020) The United Nations Refugee Agency (UNHCR), Serbia. Personal communication.
16. Vojinovic, Z., Keerakamolchai, W., Weesakul, S., Pudar, R., Medina, N., & Alves, A. (2016) Combining Ecosystem Services with Cost-Benefit Analysis for Selection of Green and Grey Infrastructure for Flood Protection in a Cultural Setting. *Environments*, **4**, 3.
17. Zlatanović, N. i Prohaska, S. (2015) Preliminarna hidrološka rekonstrukcija poplavnog talasa iz maja 2014. godine u slivu reke Kolubare. *Vodoprivreda*, 47, 161–175.