

PRIMER VREDNOVANJA EKOSISTEMA U FUNKCIJI ZAŠTITE OD POPLAVA NA SLIVU REKE TAMNAVE

Ranko S. PUDAR
Pudar Mitigation Consulting, Inc., Marietta, Georgia, USA
Marko IVETIĆ, Jasna PLAVŠIĆ
Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet

REZIME

U današnje vreme javlja se potreba za povećanim stepenom zaštite od poplava, kako zbog izazova koje donose klimatske promene, tako i zbog sve veće vrednosti dobara koje želimo da štitimo. Ono što je takođe neophodno je da se u upravljanju rizikom od poplava sve više primenjuju integralni i holistički pristupi. Takvi pristupi podrazumevaju i primenu zelene infrastrukture i prirodni bliskih rešenja, koja ispunjavanju osnovni cilj smanjenja rizika od poplava, ali koja istovremeno donose i dodatne dugoročne koristi sa ekološkog i socio-ekonomskog aspekta, kao što je povećanje zelenih prostora, povećanje biodiverziteta, poboljšanje kvaliteta vode i vazduha, mogućnosti za rekreaciju stanovništva, i mnoge druge. Sveukupno, takva rešenja doprinose povećanju vrednosti funkcija koje prirodni ekosistemi pružaju, a time i povećanju ukupnog prirodnog kapitala. U radu je prikazana metodologija i rezultati vrednovanja doprinosa zelenih mera za zaštitu od poplava vrednostima funkcija ekosistema na slivu reke Tamnave u zapadnoj Srbiji. Na primeru pošumljavanja kao antierozione mere pokazano je kako se može odrediti lokalna vrednost uloge ekosistema u sprečavanju erozije. Ta vrednost je procenjena na 16.8 €/ha/god. Ukupni godišnji doprinos svih relevantnih funkcija ekosistema na slivu je procenjena na između 111 i 329 miliona €.

Ključne reči: rizik od poplava, mere zaštite od poplava, zelena infrastruktura, prirodni bliska rešenja, funkcije ekosistema, vrednovanje

1. UVOD

Koncept funkcija ekosistema je iz osnova promenio način na koji gledamo na vezu ljudskog društva i prirode. Umesto da zaštitu prirodne životne sredine doživljavamo kao nešto zbog čega treba da se odričemo

blagostanja, sada životnu sredinu gledamo kao prirodni kapital, kao važan i dragocen resurs čiju vrednost možemo uvećati, ali i umanjiti nedomaćinskim upravljanjem. Vrednost nekog prirodnog ekosistema je, i pored najbolje volje, teško realno utvrditi, ali je moguće oceniti promenu vrednosti prirodnog kapitala izazvanu nekim aktivnostima. Na taj način je moguće i poređenje efekata aktivnih mera zaštite od poplava koje se mogu okarakterisati kao zelena infrastruktura ili tzv. prirodni bliska rešenja (*nature based solutions*) sa konvencionalnim, sivim, pasivnim merama, zasnovanim npr. na građenju nasipa.

Poslednjih godina svedoci smo često nepovratnog gubitka prirodnih resursa, što samo povećava važnost pristupa koji vrednuje ekološke sisteme (ekosisteme) kao složene ekonomske celine od velike važnosti i vrednosti. Proces analize i vrednovanja ovih sistema je već više godina veoma aktuelan na svetskom nivou, i prepoznat je kroz programe velikih svetskih organizacija, uključujući i inicijativu Ujedinjenih Nacija *Millennium Ecosystem Assessment* [1]. Smisao ovih analiza je bolje razumevanje strukture i funkcija ekosistema, u cilju poboljšanja opštih uslova i kvaliteta života. Analitički pristup podrazumeva procenu vrednosti posmatranog ekosistema u postojećem stanju, kao i međuzavisnost određenih funkcija tog sistema. Jedan od glavnih ciljeva ovih istraživanja je kvantifikacija mogućnosti ekosistema da ublaži efekte velikih prirodnih katastrofa, uključujući poplave. Vrednovanje funkcija ekosistema je postupak procene doprinosa tih funkcija ostvarenju određenih ciljeva. U ovom radu se posmatraju ekosistemi na rečnim slivovima sa stanovišta jedne od njihovih funkcija – zaštite od poplava.

Konvencionalne (pasivne) mere zaštite od poplava u praksi su već stotinama (i hiljadama) godina. Njihova uloga je ponekad višenamenska (melioracije zemljišta,

regulacija reka, zaštita obala od erozije), ali njihova osnovna uloga ostaje zaštita od poplava. Kao rezultat neplanskog razvoja i gradnje nasipa neretko bez sagledavanja dugoročne perspektive, reke često postaju odvojene od svojih prirodnih plavnih zona, u manjoj meri ili u potpunosti (na primer, Pančevački Rit na Dunavu kod Beograda). Primeri većih razmera mogu se naći u SAD (donji tok i delta reke Misisipi), ili u Evropi (delta Dunava u Rumuniji).

Kao posledica prisustva pasivnih mera zaštite od poplava, ekonomska vrednost ekosistema počinje da opada, prvenstveno kroz smanjenje prirodnih funkcija: smanjenja kontrole poplavnih talasa, degradacije ekološkog sistema, povećanje cene održavanja, kako postojeće infrastrukture (nasipa), tako i kroz povećanje troškova regulacije plovnog puta i evakuacije rečnog nanosa. Neretko su ovi procesi praćeni i dodatnom degradacijom zemljišta u branjenom području usled prekida u prihranjivanju rečnim nanosom i sekundarnim procesima, kao prirodnim sleganjem, erozijom obala i sl.

Kao alternativa, prirodi bliska rešenja koja podrazumevaju aktivnu zaštitu od poplava uključivanjem bivših plavnih zona u proces zaštite od poplava teže ka očuvanju ili obnovi ekoloških sistema [2]. Korišćenje plavnih zona u retencione svrhe povećava vrednost prirodnih funkcija kroz prihranjivanje zemljišta, konzervaciju biosfere, smanjenje troškova održavanja plovnosti reke itd. Kao posledica delimične obnove prirodnih procesa, aktivne mere takođe značajno smanjuju rizik od poplava. Slično tome, i druge mere zaštite od poplava se mogu okarakterisati kao prirodi bliska rešenja jer doprinose poboljšanim funkcijama ekosistema ne samo kroz smanjenje rizika od poplava, već i kroz druge uloge ekosistema (npr. regulisanje klimatskih uslova, kvaliteta voda, kontrola erozije, mogućnost za rekreaciju i turizam, obezbeđenje estetske vrednosti).

U skorije vreme posvećuje se sve veća pažnja holističkom planiranju i upravljanju rizikom od poplava, u kome se naglašavaju ekološke i humane vrednosti pored primarnog cilja smanjenja rizika [3], [4]. Pregled literature ukazuje na povećani interes za istraživanja u oblasti ekosistema, prvenstveno sa stanovišta korišćenja i zaštite voda i zemljišta, kvaliteta vode i zaštite od poplava. Određeni broj radova se bavi ekonomskim analizama očuvanja ekosistema u funkciji snabdevanja vodom za piće, poljoprivrednih melioracija, ili smanjenja rečne erozije. Literatura takođe ukazuje na važnost (i velika očekivanja od) obnove ekosistema u cilju smanjenja rizika od poplava, ali ta konkretna funkcija ekosistema uglavnom se razmatra na višem, generalnom nivou, bez

velikog broja radova sa konkretnim analizama. Jedan od mogućih razloga za to je relativna složenost problematike, potreba za integralnim i interaktivnim pristupom, pravedna raspodela koristi, troškova, prihvatljivog rizika između brojnih zainteresovanih strana, raznolikost regulativa u raznim delovima sveta, što se direktno odražava na potencijal obnavljanja ekosistema.

Vrednovanje uloga i funkcija ekosistema u okviru procesa izbora najboljeg rešenja zaštite od poplava na nekom slivu ima značajnu ulogu. U standardnim inženjerskim zadacima, najbolje rešenje se najčešće bira kroz proces poređenja dobiti od primenjenih mera i troškova izgradnje i održavanja. Pod dobitima od mera se podrazumevaju štete i gubici koji su tim merama izbegnuti. Međutim, kada su u pitanju mere koje uključuju zelenu infrastrukturu odnosno rešenja bliska prirodi, neophodan je složeniji pristup u kome će se u obzir uzeti i dodatne koristi za ekosisteme, životnu sredinu i dobrobit ljudi. Tek u poslednjih nekoliko godina, u literaturi se opisuju metodološki okviri za takvo sveobuhvatno vrednovanje mera za zaštitu od rečnih poplava [5], [6], [7].

U ovom radu se prikazuje metodologija za vrednovanje mera za zaštitu od poplava na manjim ruralnim slivovima koja uzima u obzir i obnovu ekosistema. Metodologija uključuje novčano vrednovanje efekata mera u pogledu dva aspekta: smanjenja šteta (rizika), i povećanja vrednosti zemljišta sa ekosistemskom ulogom u smanjenju procesa erozije. Metodologija je primenjena na slivu reke Tamnave.

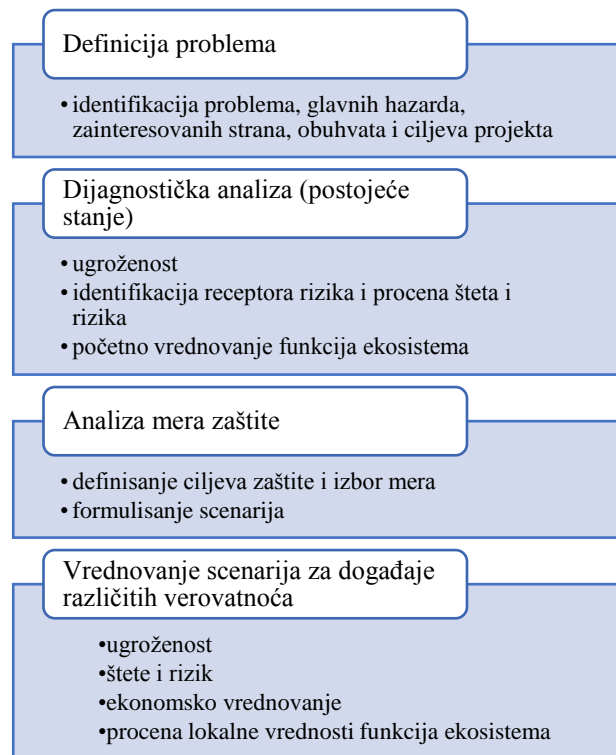
2. METODOLOGIJA VREDNOVANJA

2.1 Opšta metodologija

Predložena metodologija za vrednovanje predstavlja proširenje tradicionalne analize rizika od poplava sa koristima koje te mere donose za ekosisteme. Osnovni koraci u ovoj metodologiji prikazani su na slici 1. Prvi korak podrazumeva definisanje problema, ugroženosti područja, zainteresovane strane, obuhvata i ciljeva projekta.

Drugi korak je dijagnostička analiza postojećeg (ili nekog drugog referentnog) stanja na slivu, u kojoj se određuje ugroženost (plavne površine sa dubinama i brzinama vode, kao rezultat hidrološko-hidrauličkog modeliranja), identifikuju receptori rizika, procenjuju direktne i indirektne štete od poplava i formira početna ocena uloga ekosistema. Rezultat ovog koraka jeste prostorni model šteta od poplava [8], a u ovom radu je

formiran mikro model šteta koji kombinuje karte ugroženosti visoke rezolucije i detaljne podatke o kategorijama receptora rizika. U ovom koraku se formira i početna ocena vrednosti funkcija ekosistema, koja se najčešće bazira na podacima iz literature.



Slika 1. Opšta metodologija za ocenu rizika od poplava pri nekom scenariju zaštite uz vrednovanje funkcija ekosistema

U trećem koraku se uspostavlja strategija zaštite od poplava na slivu, biraju se potencijalne mere i formiraju se različiti scenariji, odnosno različite konfiguracije sistema zaštite. U ovom radu mere su podeljene na zelene i sive, tako da su razmatrani scenariji sa ovim vrstama mera, kao i kombinovani sivo-zeleni scenario.

U poslednjem koraku razmatrani scenariji se vrednuju tako što se predložene mere integrišu u prostorni model šteta. To praktično podrazumeva simulacije ugroženosti i procenu šteta pod pretpostavkom postojanja mera iz razmatranog scenarija. Proračuni se ponavljaju za niz verovatnoća pojave (tj. povratnih perioda) poplave i za svaki scenario zaštite. U ovom koraku se takođe ažurira vrednost funkcija ekosistema za lokalne uslove. To se može uraditi kroz identifikaciju konkretne namene zemljišta koja doprinosi smanjenju rizika od poplava kroz

predviđene mere zaštite, nakon čega se koristi od tih mera koriste za ažuriranje početne vrednosti funkcija ekosistema za tu vrstu namene površine.

2.2 Vrednovanje mera zaštite od poplava

Cilj vrednovanja određenog scenarija (skupa mera) zaštite od poplava je da se kvantifikuju pozitivni efekti mera zaštite. Uobičajeni pristup podrazumeva novčano izražavanje efekata mera kao koristi ili dobiti, i njihovo suprotstavljanje troškovima investicija i održavanja kako bi se ustanovila isplativost ulaganja u izabrane mere.

Pod koristi ili dobiti u zaštiti od poplava tradicionalno se podrazumeva iznos šteta od poplava koje bi se izbegle predviđenim merama zaštite u odnosu na štete u postojećem (ili nekom drugom referentnom) stanju. Ako se štete od poplava pod referentnim scenarijom 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 :

$$B_S = D_0 - D_S$$

Za jedan scenario zaštite od poplava, ukupne štete obuhvataju gubitke za sve receptore rizika i procenjuju 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 [9]. 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 .

Očekivana godišnja korist EAB (engl. *expected annual benefit*) od scenarija S takođe se može 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.

Gore opisani tradicionalni pristup za procenu efekata mera zaštite od poplava zasnivaju se samo na štetama (i koristima kao izbegnutim štetama) koje se direktno ili indirektno vezuju za poplavni događaj. Primeri direktnih šteta su štete na infrastrukturi (saobraćajnoj, energetske, komunalnoj i drugoj) ili na poljoprivrednim kulturama usled direktnog plavljenja, dok indirektno štete potiču od prekida rada industrije, prekida saobraćaja, prekida komunalnih usluga, ali i zbog raseljavanja stanovništva, mentalnog stresa i gubitaka života ljudi.

Međutim, neki pozitivni efekti pojedinih mera zaštite od poplava nisu povezani sa poplavnim događajima. Zelena infrastruktura i prirodi bliska rešenja donose određene pozitivne efekte za životnu sredinu (npr. proširenje staništa ili povećanje biodiverziteta, bolji kvalitet vode i vazduha) i za stanovništvo (npr. mogućnosti za rekreaciju i turizam ili zdraviji uslovi za život). Takve dodatne efekte treba takođe valorizovati i uključiti u odlučivanje pri poređenju troškova sa dobiti.

Jedan od mogućih načina da se pokaže vrednost mera zaštite od poplava i za druge ciljeve osim glavnog cilja – smanjenja šteta od poplava – jeste da se valorizuju funkcije ekosistema u razmatranom području pre i posle sprovedenih mera zaštite.

2.3 Vrednovanje ekosistemskih funkcija

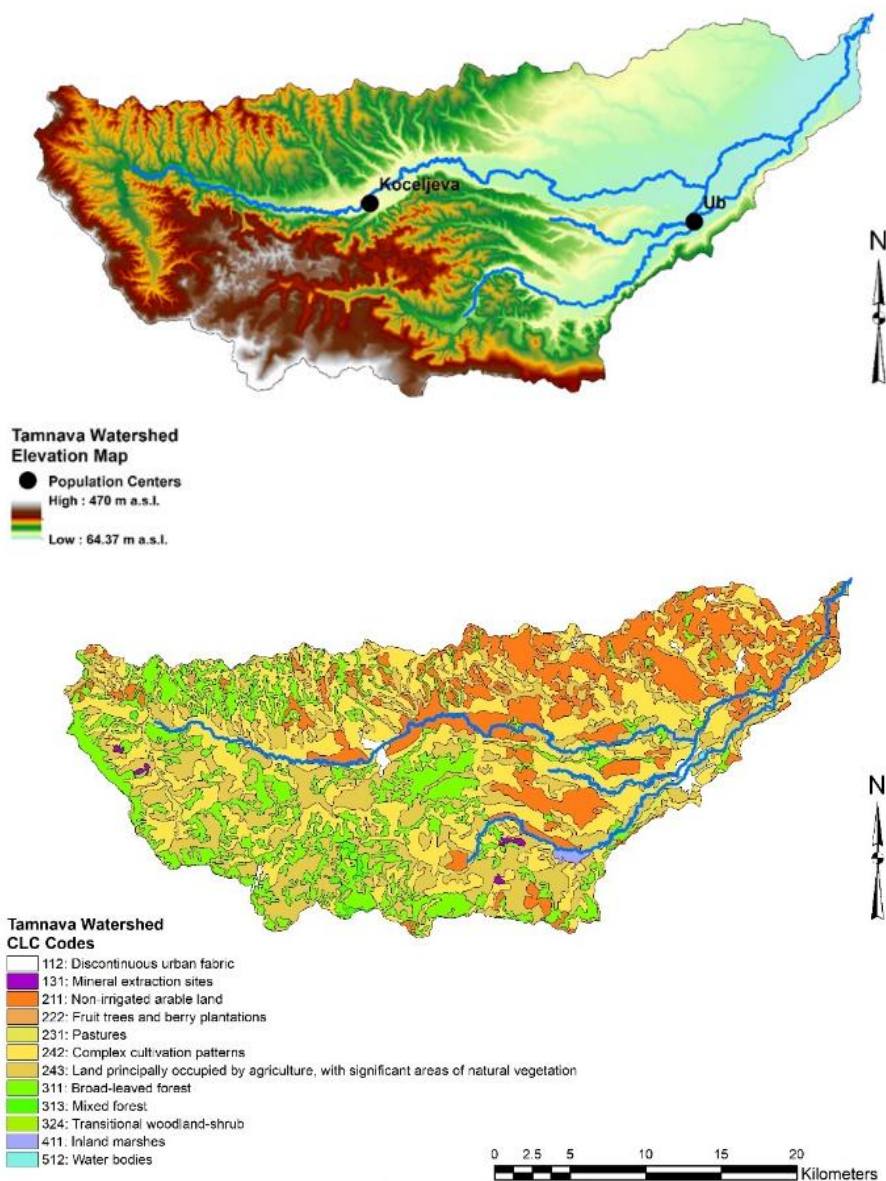
Ekosistemske funkcije (ili uloge) se definišu kao „koristi koje ljudi imaju od ekoloških sistema“ [1]. Te koristi mogu biti veoma različite, ali se u literaturi najčešće grupišu u [10]: funkcije snabdevanja (voda za piće, hrana, drvna građa, medicinski resursi), regulacije (kvaliteta vazduha, klime, ekstremnih događaja, erozije itd.), održavanja (biodiverziteta, kruženja hranljivih materija, primarne proizvodnje itd.) i kulture (estetske vrednosti, kulturna baština, rekreacija i turizam, obrazovni karakter itd.).

Vrednovanje ekosistema je kompleksno pitanje, i postoji više pristupa za to [11]. Za inženjerske primene od interesa je postojanje nekoliko globalnih baza podataka sa rezultatima analiza i procena iz celog sveta. Najpoznatije baze su *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* [12], [13] i *Ecosystem Service Value Database* (ESVD, [11], [14]). Vrednost ekosistemskih funkcija se najčešće izražava u internacionalnim dolarima godišnje po hektaru površine sa odgovarajućim zemljišnim pokrivačem (int \$/ha/god). Ovaj rad se fokusira na male ruralne slivove, na kojima u najzastupljenije vrste zemljišnog pokrivača spadaju šume, livade, poljoprivredne površine, kao i reke i druge vodene površine. Za razmatrane vrste pokrivača na nekom slivu, iz pomenutih baza podataka mogu se preuzeti vrednosti ekosistemskih funkcija iz prethodnih studija sa sličnih slivova. Ove vrednosti mogu da variraju u širokom dijapazonu, tako da je od značaja da se za razmatrani sliv, ako je moguće, procene i odgovarajuće lokalne vrednosti. U ovom radu će se prikazati takav postupak za vrednost šuma u sprečavanju erozije.

3. PRIMER VREDNOVANJA ZA SLIV REKE TAMNAVE

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 km² (slika 2). 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 Koceljavi.

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 [15], [16], 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 m³/s odnosno 146 m³/s, dok su prosečni protoci ovih reka oko 1 m³/s.

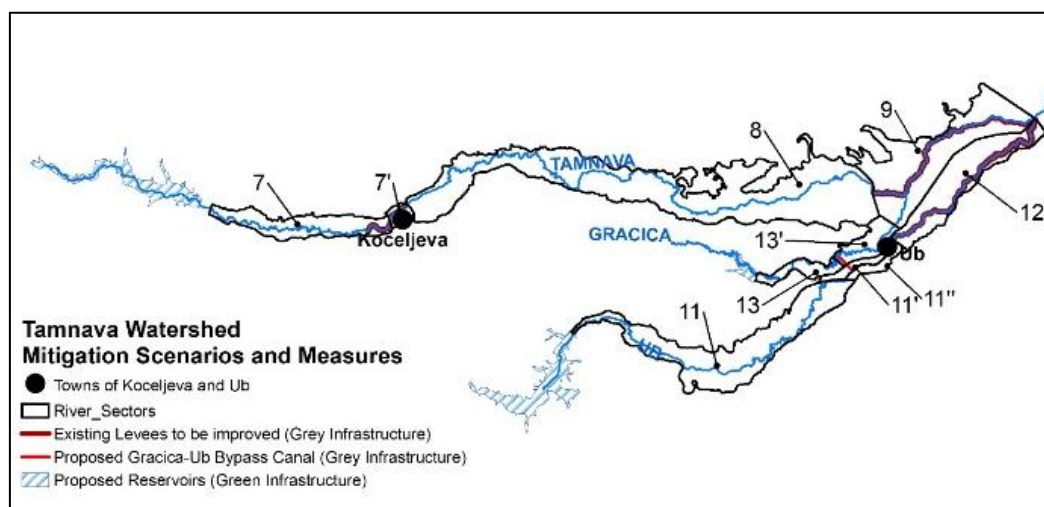


Slika 2. Sliv Tamnave: reljef (gore) i zemljišni pokrivač prema CORINE Land Cover (dole).

3.1 Postojeće i planirane mere zaštite od poplava

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 [17] (u daljem tekstu „Studija Kolubara“), koja je detaljno analizirala poplavni doga-

đaj iz 2014. i predložila nove mere zaštite za ceo sliv Kolubare. 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 3), kao i anti-erozioni radovi u gornjem delu sliva. Do danas je realizovan samo ovaj rasteretni kanal, dok su projekti retenzija u izradi. Na slici 3 prikazana je podela dolina Tamnave i Uba na deonice različitih karakteristika, koja je preuzeta iz „Studije Kolubare“.



Slika 3. 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 Kolubare".

U ovom radu se razmatraju sve mere zaštite koje su predložene u „Studiji Kolubara“, 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, izgradnju tri retenzije na Tamnavi, Ubu i Gračici, i primenu antierozivnih mera u gornjem delu sliva;
- *sivo-zeleni scenario*, koji uključuje sve planirane mere (nadvišenje nasipa, rasteretni kanal, tri retenzije i antierozivni radovi).

3.2 Mikro model šteta od poplava na slivu Tamnave

Formirani mikro model šteta od poplava na slivu Tamnave sadrži obe komponente rizika, tj. ugroženost i ranjivost (receptori rizika). 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.

U identifikaciji receptora rizika na slivu Tamnave, odnosno objekata i subjekata koji su izloženi riziku od

poplava, izabran je određeni broj kategorija koje imaju najveći udeo u ukupnim štetama, tako da konačna procena šteta ne bude značajno potcenjena [8]. 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. 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).

U nastavku se daje kraći opis metodologije za procenu šteta, dok se detaljniji opis može naći u radovima autora [8], [19], [20].

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 [18], dok su vrednosti maksimalnih potencijalnih 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%. 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.

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. 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.

Saobraćajna infrastruktura može pretrpeti različite štete od poplava, kako direktne tako i indirektno štete u smislu gubitka funkcije. U ovom radu razmatrana je samo putna mreža (ne postoji drugi vid saobraćaja na slivu) 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 [18], dok je maksimalna potencijalna šteta iz literature prilagođena prema cenama izgradnje puteva u Srbiji.

Stanovništvo može biti ugroženo poplavama na različite načine, uključujući opasnost od rušenja oštećenih obje-

kata, opasnost po zdravlje, prekide komunalnih 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 [21]. Troškovi evakuacije bi u opštem slučaju uključili jednokratne troškove same evakuacije i troškove privremenog smeštaja koji zavise od trajanja. Uzeti su u obzir samo ovi drugi troškovi. 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).

3.3 Procena dodatnih efekata pošumljavanja i lokalne vrednosti ekosistemske uloge šuma u sprečavanju erozije

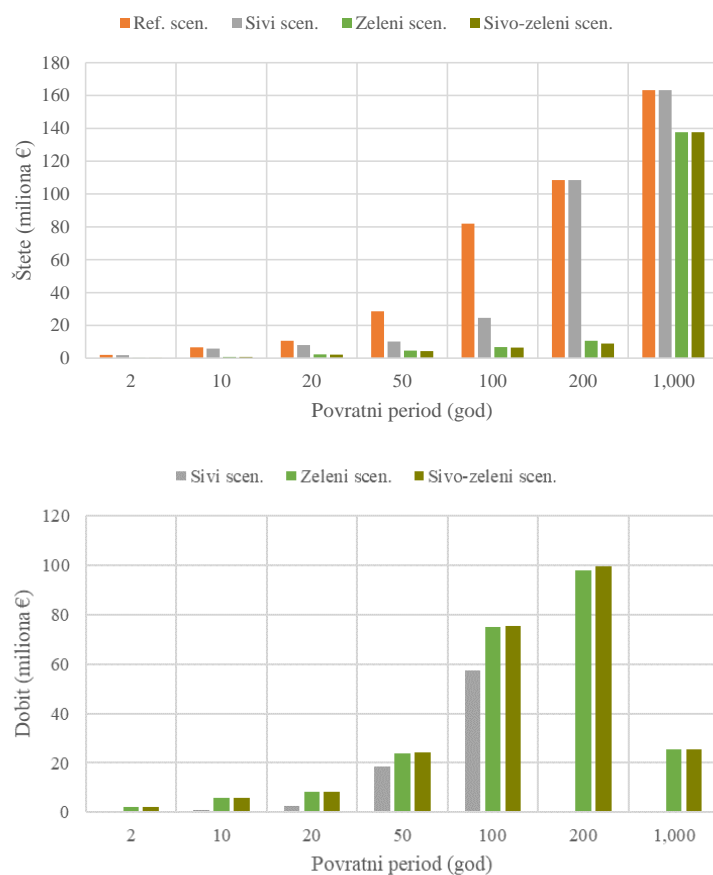
„Studija Kolubara“ [17] je predvidela primenu antierozionih mera u gornjem delu sliva Tamnave, među kojima su pošumljavanje, popunjavanje i ozelenjavanje na ukupnoj površini od 1686 ha. Ove mere su predložene kako bi se smanjio unos nanosa u predviđene tri retenzije. U ovoj studiji efekat mera je proračunat na osnovu smanjenja ukupnog pronosa nanosa posle primenjenih mera, a koje je proporcionalno smanjenju zapremine poplavnog talasa na ulazu u retenziju. Proračuni su sprovedeni za više povratnih perioda, što je omogućilo da se u ovom radu odredi očekivano godišnje smanjenje pronosa nanosa usled antierozionih mera od 2830 m³/god.

Efekti ovih mera se mogu novčano izraziti kao smanjenje troškova za uklanjanje nanosa iz vodotoka i retenzija. Uz pretpostavku jediničnog troška za bagerovanje nanosa od 10 €/m³, došlo se do godišnje uštede od 28.300 €/god. S obzirom da je ova ušteda posledica pošumljavanja površine od 1686 ha, sledi da vrednost ekosistemske uloge šuma u sprečavanju erozije iznosi, po jedinici pošumljene površine, 16.8 €/ha/god.

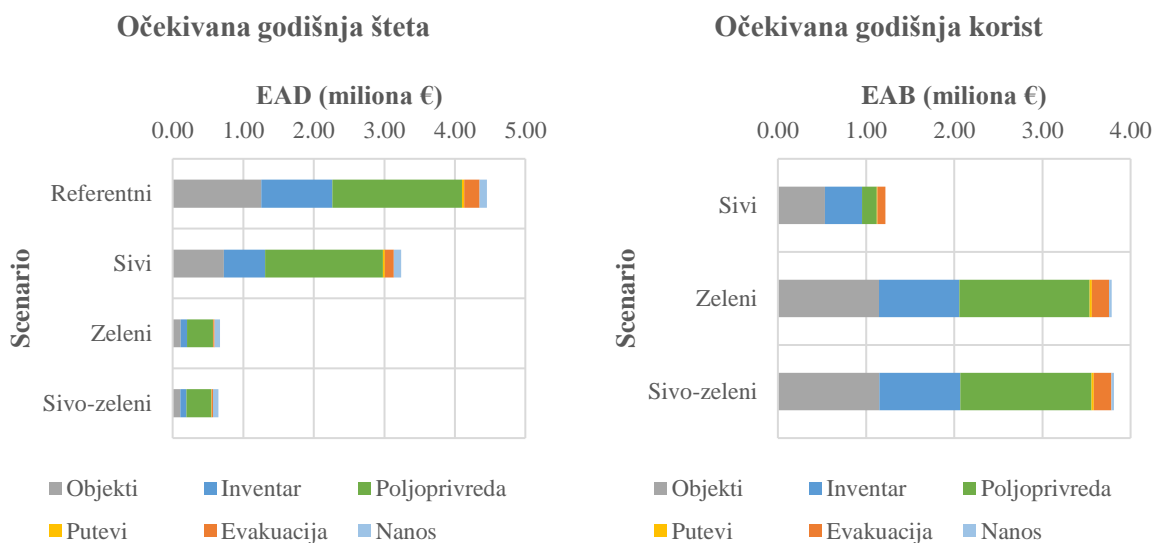
Uz ovako formiranu lokalnu vrednost jedne ekosistemske funkcije i ostale vrednosti preuzete iz literature, može se sprovesti vrednovanje sliva reke Tamnave sa gledišta ekosistemskih funkcija. Tabela 1 pokazuje usvojene jedinične vrednosti za vrste zemljišnog pokrivača identifikovane na slivu Tamnave.

Tabela 1. Rasponi vrednosti ekosistemskih funkcija po jedinici površine za različite vrste zemljišnog pokrivača na slivu Tamnave (u €/ha/god). *Vrednost određena za sliv Tamnave u ovom radu.

Funkcija ekosistema	Poljoprivreda	Livade	Šuma	Vlažna staništa	Reke
Proizvodnja hrane	1.4–20.5	–	0.1–16.3	0.3–1255	26.2–46.2
Snabdevanje vodom	0.1–50.8	–	4732.2 – 6001	57.8–5236	86.5–3506
Regulisanje klime	95.4–95.4	3.1–16.8	52.2 – 861	2.4–611	35.1–45.5
Zaštita od poplava	0.1–3103	–	–	312–10239	9.1 – 1055
Sprečavanje erozije	19.8–19.8	–	16.8*–16.8*	1082–16009	–
Regulisanje vode	–	–	11–143.1	96.5–357	51.4–51.4
Biološka kontrola	51.8–51.8	97.8–97.8	32.8–32.8	198–198	–
Kvalitet vode	–	7.7–7.7	–	43.6–5922	124.6 – 2261
Formiranje zemljišta	19.7–19.7	21.7–21.7	–	–	–
Kruženje nutrijenata	75.7–75.7	–	–	–	–
Obnova staništa	–	–	2007–2007	218–2225.6	7.9–63.5
Ukupno	264–3436	130–144	6835–9061	2011–42053	341–7028
Ukupno zaštita od poplava i erozije	20–3122	0–0	16.8–16.8	1395–26248	9–1055



Slika 4. Raspedele šteta od poplava (gore) i ušteta (dole) na slivu Tamnave za tri scenarija planiranih mera zaštite.



Slika 5. Očekivane godišnje štete od poplava (levo) i koristi tj. uštede (desno) prema vrstama receptora rizika i za kontrolu erozije kao dodatni efekat.

Tabela 2. Rasponi ukupnih godišnjih vrednosti ekosistemskih funkcija na slivu Tamnave.

Kategorija zemljišnog pokrivača	Površina (ha)	Godišnja vrednost ekosistemskih funkcija (miliona €/god)
Poljoprivredno zemljište	56625	14.95 – 194.58
Livade	974	0.127 – 0.140
Šume	13955	95.39 – 126.44
Vlažna staništa	171	0.344 – 7.19
Reke	33	0.011 – 0.232
Ukupno	71758	110.82 – 328.59

4. REZULTATI

4.1 Očekivane štete i uštede za scenarije zaštite od poplava

Slika 4 prikazuje raspodele verovatnoće šteta i koristi (ušteda) za sve razmatrane scenarije (tj. u zavisnosti od povratnog perioda poplave). Očekivane godišnje štete (EAD) sa strukturom po kategorijama receptora rizika su prikazane na levom dijagramu na slici 5 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 5, 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.

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.

4.2 Vrednovanje ekosistemskih funkcija na slivu Tamnave

Na slivu Tamnave identifikovano je pet primarnih vrsta zemljišnog pokrivača: poljoprivredne površine, livade, šume, vlažna staništa, i reke. Za ove vrste pokrivača izabrane su relevantne funkcije ekosistema. Vrednosti tih funkcija su preuzete iz literature, dok je vrednost šuma tj. njihove uloge u sprečavanju erozije procenjena na 16.8 €/ha/god, kao što je objašnjeno u delu 3.3. Kada se jedinične cene primene na površine zastupljene na celom slivu, dobijaju se rasponi vrednosti ekosistemskih funkcija prikazani u tabeli 2. Na osnovu svega sledi da procenjena vrednost sliva Tamnave sa gledišta ekosistemskih funkcija nakon primene zelenih mera (antierozionih radova) iznosi između 111 i 329 miliona €. Ovako širok raspon u proceni vrednosti je posledica primene jediničnih vrednosti iz različitih studija, među kojima ima i onih koje po uslovima nisu slične slivu Tamnave. Uprkos tome, ekonomsko vrednovanje funkcija ekosistema na slivu Tamnave ukazuje na prirodni kapital koji ovaj sliv poseduje i može biti korisno za projekcije dobiti od ekosistema u budućnosti.

5. ZAKLJUČAK

Zaštita od poplava na malim ruralnim slivovima primenom mera zelene infrastrukture i prirodi bliskih rešenja je veoma atraktivna jer pored primarnog cilja smanjenja rizika od poplava donosi i dodatne koristi u vidu povećanja vrednosti ekosistemskih funkcija na slivu, kao i za dobrobit ljudi i društveno-ekonomski razvoj područja. Ekonomsko vrednovanje efekata takvih zelenih mera tek počinje da se izučava, a za potrebe procesa odlučivanja u upravljanju rizicima od poplava neophodno je da se razviju robusne metodologije za takvo vrednovanje. Takođe, imajući u vidu da se postojeći sistemi zaštite uglavnom sastoje od sive infrastrukture, nove metodologije treba da omoguće ekonomsko vrednovanje kako sivih i zelenih, tako i hibridnih rešenja zaštite.

Metodologija za ekonomsko vrednovanje koja je predložena u ovom radu obuhvata tradicionalni analizu direktnih i indirektnih šteta i takođe omogućava vrednovanje koristi koje ekosistemi na slivu mogu imati od zelene infrastrukture.

Na primeru sliva reke Tamnave pokazano je da je uloga nadvišenja postojećih nasipa (kao sive mere) u smanjenju šteta od poplava inferiorna u odnosu na efekte tri planirane retenzije (kao zelene mere), i to prevashodno zbog drastičnog smanjenja šteta u poljoprivredi koja je na ovom slivu zastupljena u velikoj meri i do sada nije bila zaštićena od poplava, dok su urbana područja već zaštićena.

Pored toga, pokazano je kako se može sprovesti ekonomsko vrednovanje ekosistemskih funkcija na slivu korišćenjem jediničnih vrednosti iz literature i procenom lokalnih vrednosti na slivu. U konkretnom primeru, pokazano je da vrednost uloge šuma u sprečavanju erozije iznosi 16.8 €/ha/god. Ukupna vrednost svih funkcija ekosistema na slivu je procenjena na između 111 i 329 miliona €. Uprkos velikoj neizvesnosti, ova procena govori o redu veličine vrednosti prirodnog kapitala na ovom slivu i ukazuje na potrebu da se ta vrednost očuva kroz održive mere koje ujedno daju mogućnost i za adaptaciju na klimatske promene.

LITERATURA

- [1] *Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC., USA, 2005.
- [2] Vojinović Z., Abbott M.B., *Flood Risk and Social Justice: From Quantitative to Qualitative Flood Risk Assessment and Mitigation*, IWA Publishing, 2012.
- [3] Vojinovic, Z., Keerakamolchai, W., Weesakul, S., Pudar, R., Medina, N., & Alves, A., Combining Ecosystem Services with Cost-Benefit Analysis for Selection of Green and Grey Infrastructure for Flood Protection in a Cultural Setting. *Environments*, 4(1), 3. DOI: 10.3390/environments4010003, 2016.
- [4] Ruangpan, L., Vojinovic, Z., Di Sabatino, S., Leo, L. S., Capobianco, V., Oen, A. M. P., McClain, M. E., & Lopez-Gunn, E., 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(1), 243–270. DOI: 10.5194/nhess-20-243-2020, 2020.
- [5] Watkin, L. J., Ruangpan, L., Vojinovic, Z., Weesakul, S., & Torres, A. S.: A framework for assessing benefits of implemented nature-based solutions. *Sustainability*, 11(23): 6788. DOI: 10.3390/su11236788, 2019.

- [6] Giordano, R., Pluchinotta, I., Pagano, A., Scricciu, A., & Nanu, F.: Enhancing nature-based solutions acceptance through stakeholders' engagement in co-benefits identification and trade-offs analysis. *Sci. Tot. Environ.*, 713, 136552, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136552, 2020.
- [7] Rodriguez, L. F., Zingraff-Hamed, A., Cyffka, B., & Disse, M.: Integrated Valuation of Nature-Based Solutions Using TESSA: Three Floodplain Restoration Studies in the Danube Catchment. *Sustainability*, 13(3), 1482. DOI: 10.3390/su13031482, 2021.
- [8] Pudar, R., *Valuation of fluvial ecosystems restoration in function of flood risk mitigation*, Doctoral dissertation, University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering, 2021.
- [9] Rosić, N. i Jovanović, M., Stohastički pristup u određivanju šteta od poplava. *Vodoprivreda*, 40, 183–189, 2008.
- [10] Kocian, M., Traughber, B., & Batker, D., Valuing Nature's Benefits: An Ecological Economic Assessment of Iowa's Middle Cedar Watershed. *Earth Economics*. Tacoma, WA, 2012.
- [11] de Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., McVittie, A., Portela, R., Rodriguez, L. C., ten Brink, P., & van Beukering, P.: Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1(1), 50–61, 2012.
- [12] TEEB, The Economics of Ecosystems and Biodiversity – Ecological and Economic Foundations, P. Kumar (Ed.), Earthscan, London, Washington, 2010.
- [13] TEEB, The Economics of Ecosystems and Biodiversity – Mainstreaming the Economics of Nature: A Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB. Available at: <http://teebweb.org/publications/teeb-for/synthesis>, 2010.
- [14] Ecosystem Services Valuation Database (ESVD), Ecosystem Partnership. Available at: www.es-partnership.org/esvd, 2020.
- [15] Plavšić, J., Vladiković, D., & Despotović, J.: 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, 2014.
- [16] Zlatanović, N. i Prohaska, S.: Preliminarna hidrološka rekonstrukcija poplavnog talasa iz maja 2014. godine u slivu reke Kolubare. *Vodoprivreda*, 47, 161–175, 2015.
- [17] Studija unapređenja zaštite od voda u slivu reke Kolubare, Institut "Jaroslav Černi" za UNDP Srbija i JVP "Srbijavode", Beograd, 2016.
- [18] Huizinga, J., Moel, H. de, & Szewczyk, W.: *Global flood depth-damage functions. Methodology and the database with guidelines*, Joint Research Centre (European Commission), doi: 10.2760/16510, 2017.
- [19] Pudar, R., Plavšić, J., & Todorović, A.: Evaluation of Green and Grey Flood Mitigation Measures in Rural Watersheds. *Applied Sciences*, 10(19), 6913. DOI: 10.3390/app10196913, 2020.
- [20] Pudar R. & Plavšić J.: Ekonomsko vrednovanje mera za zaštitu od poplava na slivu reke Tamnave, 19. savetovanje SDHI i SDH, Beograd, 2021.
- [21] Supplement to the Benefit-Cost Analysis Reference Guide, Federal Emergency Management Agency, Washington, USA, 2011.

VALUATION OF FLUVIAL ECOSYSTEMS IN FUNCTION OF FLOOD PROTECTION: THE TAMNAVA RIVER WATERSHED EXAMPLE

by

Ranko S. PUDAR

Pudar Mitigation Consulting, Inc., Marietta, Georgia, USA

Marko IVETIĆ, Jasna PLAVŠIĆ

University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering

Summary

Ongoing change in climate conditions and ever increasing value of flood-affected assets are driving the need for an enhanced level of protection from flood hazards. Contemporary methodology in flood protection is characterized by integral and holistic approach. Such an approach entails application of green infrastructure and nature-based solutions which, besides performing a core flood protection role, yield additional long-term ecological and socioeconomic benefits. Such benefits may include an increase in green spaces and biodiversity in general, improvement in air and water quality, flood and drought regulation, and soil erosion among many others. While nature-based solutions increase the value of natural functions provided by the

ecosystem, they subsequently contribute to its overall natural capital. The research showcases methodology and valuation of nature-based flood protection measures in Tamnava watershed in Western Serbia, namely through forestation as a tool for erosion control. The locally valuated erosion control function of Tamnava ecosystem is estimated at 16.8 €/ha/year. Overall annual valuation of all pertinent ecosystem functions in Tamnava watershed varies between 111 and 329 million €.

Key words: flood risk, flood protection measures, green infrastructure, nature-based solutions, ecosystem services, valuation

Redigovano 4.11.2021.