

KARTIRANJE RIZIKA OD POPLAVA

Dr Miodrag JOVANOVIĆ
Andrijana TODOROVIĆ
Marko RODIĆ
Građevinski fakultet - Beograd

REZIME

U ovom članku se razmatra metodologija kartiranja plavnih područja, šteta i rizika. Težište je na načinu određivanja sintetičkih funkcija potencijalne štete, koje se koriste za definisanje očekivane godišnje štete, kao glavnog parametra za kvantifikovanje rizika od poplava. Metodologija je ilustrovana primerima iz naše prakse.

Ključne reči: zaštita od poplava, štete od poplava, kartiranje rizika od poplava

1. UVOD

Poslednjih decenija skoro trećinu svih ljudskih žrtava prirodnih katastrofa u svetu čine žrtve poplava [1], a materijalne štete se mere desetinama milijardi dolara (Tabela 1). Činjenica da se učestalost poplava povećava, a porast šteta intenzivira, objašnjava se klimatskim promenama, urbanizacijom i uticajem drugih prirodnih i antropogenih faktora. Činjenica je i to da sve više raste i zainteresovanost javnosti da bude informisana o riziku od poplava i o merama za upravljanje poplavama.

Rizik od poplava predstavlja verovatnoću pojave štete na ugroženom području. Komponente rizika su dakle, verovatnoća pojave (kao indikator uzroka) i materijalna šteta (kao indikator posledice). Za kvantifikaciju rizika od poplava koristi se, kao što će biti u ovom radu pokazano, očekivana godišnja šteta [1, 4, 10, 12].

Analiza potencijalnog rizika od poplava i njegovo kartiranje predstavlja najvažniju stručnu aktivnost u okviru *neinvesticionih mera* zaštite od poplava. Ova mera je usmerena ne samo u pravcu efikasnog i održivog upravljanja poplavama, već i razvoju opšte svesti o tome da je rizik od plavljenja neizbežan i da poznato načelo „živeti sa poplavama“ nije puka fraza, već realan koncept koji mora biti prihvaćen u javnosti.

Tabela 1. Poplave sa najvećim štetama u svetu u periodu 1991-2001 [3].

R. br	God.	Zemlja / reka (najugroženije oblasti)	Iznos štete (milijarde \$US)
1	1998	Kina (Jangce, Songhua)	31
2	1996	Kina (Jangce)	24
3	1993	SAD (Misisipi)	21
4	1995	Severna Koreja	15
5	1993	Kina (Jangce, Huai)	11
6	1994	Italija (sever)	9,3
7	1993	Bangladeš, India, Nepal	8,5
8	2000	Italija, Švajcarska (jug)	8,5
9	1999	Kina (Jangce)	8
10	1994	Kina (jugoistok)	7,8
11	1995	Kina (Jangce)	6,7
12	2001	SAD (Teksas)	6
13	1997	Češka, Poljska, Nemačka (Odra)	5,9

Kartiranje rizika od poplava obuhvata niz aktivnosti:

- (1) hidrološku analizu velikih voda i izbor projektnih poplavnih talasa;
- (2) hidrauličku analizu i proračun projektnih kota nivoa;
- (3) određivanje plavnog područja;
- (4) proračun potencijalne štete, odnosno njene očekivane godišnje vrednosti;
- (5) procenu rizika;
- (6) kartiranje plavnog područja, šteta i rizika.

Veličina plavnog područja, potencijalne štete i odgovarajućeg rizika presudno zavise od karakteristika poplavnog talasa (dubine i trajanja plavljenja), topografije rečne doline i namene površina.

U ovom trenutku ne postoji opšte prihvaćena metodologija kartiranja rizika. U načelu, kartiranje rizika se zasniva na kvantifikaciji materijalne štete, u zavisnosti od verovatnoće plavnog događaja, odnosno njegovog povratnog perioda. Potencijalna šteta obuhvata na širem planu sve

ono što je poplavom ugroženo: stanovništvo, životinje, stambene objekte, infrastrukturu, pokretnu imovinu, otvorene prostore (dvorišta, parkove i vrtove), kao i materijalnu vrednost industrije i useva. Kriterijum ugroženosti stanovništva definisan je brojem ljudi izloženih riziku poplava.

Analize šteta se mogu obavljati na međunarodnom, regionalnom i lokalnom nivou, u zavisnosti od veličine sliva i karakteristika poplavnih talasa.

Poznato je da je određivanje verovatnoće plavnih događaja i njihovih posledica suočeno sa brojnim neizvesnostima. Statističke hidrološke analize mogu biti nepouzdana usled nedovoljnog broja ili kvaliteta podataka, a isto važi i za ekonomske analize. Numerički hidrodinamički modeli, koji se koriste za kartiranje plavnih područja, zasnivaju se na uprošćenoj predstavi složenih prirodnih procesa, a njihova primena je suočena sa problemima kalibracije. Tome treba dodati i to da je inženjerska intuicija i procena (koja je po svojoj prirodi subjektivna, pa time doprinosi neizvesnosti), praktično nezaobilazna u analizi rizika od poplava. Stoga se može zaključiti da svakom stepenu rizika od poplava odgovara značajan stepen neizvesnosti [1,6,12].

2. PROCENA POTENCIJALNIH ŠTETA

2.1 Hidrološko-hidrauličke analize

Početni korak u analizi rizika od poplava je određivanje merodavnog slivnog područja i pripadajuće hidrografske mreže. Tipologija poplava zavisi od veličine sliva i njegovih karakteristika. Nepohodno je identifikovati moguće uzroke poplava (intenzivne kiše, topljenje snega, koincidencija velikih voda). Kao što je poznato, poplave obično nastaju kada površinski oticaj usled dugotrajnih ili intenzivnih kišnih epizoda u uslovima vodom zasićenog tla, premaši kapacitet rečnih korita. Rizik od poplava se dodatno povećava usled klimatskih promena, kao i usled raznih antropogenih uticaja, kao što je smanjenje retenzionog kapaciteta u priobalju usled urbanizacije ili neke druge izmene u nameni površina [6]. U niskim aluvijalnim područjima, režim podzemnih voda je osetljiv na visoke kote nivoa u rekama, tako da poplave usled „unutrašnjih“ (podzemnih) voda mogu izazvati velike štete. S druge strane, bujične poplave u brdskim područjima mogu takođe imati ozbiljne posledice. Velika učestalost poplava u urbanim područjima praćeno je zagušenjem kanalizacionih sistema, narušavanjem kvaliteta voda i zagađenjem životne sredine.

Bez obzira na vrstu poplave, granice plavnog područja moraju se odrediti hidrauličkim proračunom, koristeći modele linijskog i/ili ravanskog tečenja. Savremeni pristup

zahteva da se rezultati hidrauličkih proračuna prikazuju u GIS okruženju, je ono integriše ulazne podatke i rezultate različitih proračuna i omogućava lako kombinovanje raznih tematskih sadržaja, kao što su namena površina, plavne zone, štete itd.

2.2 Indikatori potencijalne štete

Za izražavanje šteta od poplava koriste dva parametra [9]:

(i) Najveća - maksimalna šteta (S_{max}) je najveća procenjena vrednost imovine za datu nemenu površine. Reč je o gornjoj granici štete („totalnoj šteti“), koja se ne može ostvariti čak i u slučaju najvećih poplava.

(ii) Faktor štete (α) je indikator moguće štete, izražen kao procenat u odnosu na najveću štetu S_{max} . Promenljivost ovog parametra se definiše pomoću „funkcija štete – zavisnosti između dubine plavljenja i štete za određeni tip namene površina.

Novčani iznos potencijalne štete, shodno definiciji navedenih parametara, definiše se kao: $S = \alpha \cdot S_{max}$.

2.3 Vrednost imovine

Ova vrednost se utvrđuje za svaki tip namene površine. U slučaju urbanih područja (stambeni objekti, industrija, infrastruktura itd.), vrednost imovine (objekata i inventara), može se iskazati na dva načina, kao vrednost imovine po ceni izgradnje ili nabavke, ili kao vrednost imovine po aktuelnoj ceni. U ovom drugom slučaju se, primenom diskontnog računa, kroz obračun amortizacije, osiguranja i drugih troškova, uzima u obzir promenljiva vrednost kapitala tokom vremena.

Definisanje potencijalne štete podrazumeva određivanje:

1. površina svih tipova namene [m^2];
2. vrednosti imovine za sve površine [€];
3. vrednosti imovine po jedinici površine (specifične štete usled plavljenja [€/m²]).

Treba obratiti pažnju da su ovako određene štete od poplava *potencijalne, a ne stvarne štete*. (Stvarne štete se mogu odrediti samo za poplave iz prošlosti). Takođe treba voditi računa da se ovde radi o *direktnim* materijalnim štetama. Indirektne štete (na primer, zastoje u saobraćaju), kao i negativni uticaji poplava u socijalnoj sferi (ljudske patnje, gubitak posla i dr.), nisu obuhvaćene ovim razmatranjem.

Podaci o gustini stanovanja predstavljaju osnov za regionalne analize, gde se pravi razlika između urbanih i ruralnih područja. Podaci, koji se dobijaju od državnih ili pokrajinskih statističkih zavoda, obuhvataju površinu naselja, ukupni broj stanovnika i gustinu stanovanja [st/km²].

(1) *Vrednost imovine u naseljima*. Određivanje ove vrednosti, koja obuhvata vrednost objekata, inventara i privatnih motornih vozila, nije jednostavno. Dostupnost ovih informacija je veća u razvijenim evropskim zemljama, gde se ova vrsta podataka prikuplja i statistički obrađuje za razne potrebe.

Vrednost *objekata* [€] izražava se kao prosečna vrednost pojedinačnog tipskog objekta, ili kao vrednost svih objekata u određenom regionu. Domaćinstva se klasifikuju prema broju ukućana, tako da se ukupna privatna imovina može normirati u novčanim jedinicama po stanovniku [€/st].

Vrednost *inventara* [€] (svih sadržaja u objektu) može se proceniti pomoću podataka osiguravajućih društava, a kako su ti podaci po pravilu nepotpuni, u proceni ove stavke prisutne su velike neizvesnosti.

Vrednost *privatnih motornih vozila* ne obuhvata teretna vozila (autobuse, kamione i traktore), koja su obuhvaćena posebnom stavkom. Ukupna vrednost motornih vozila za određeno područje može se proceniti na osnovu broja domaćinstava, ili na osnovu podataka o registraciji vozila i njihovom osiguranju. Prosečna vrednost motornih vozila se obično pretpostavlja (na primer, za automobil 10000 €, a za motocikl 3000 €).

Sabirajući prethodno navedene vrednosti imovine, može se odrediti *specifična vrednost imovine u naseljima*, izražena u jedinicama [€/m²].

(2) *Industrija i infrastruktura*. Specifična vrednost ove imovine može se sračunati ako se ukupna vrednost industrijskih objekata (sa inventarom) i ukupna vrednost infrastrukture podeli sa površinom datog tipa namene. Podaci o vrednosti industrijskih i infrastrukturnih kapaciteta mogu se potražiti u zvaničnim godišnjim statističkim izveštajima, ili u odgovarajućim ministarstvima.

(3) *Zemljište*. Razmatraju se tri kategorije: obradivo zemljište, pašnjaci/livade i šume. Ova kategorizacija proizilazi iz različitog stepena „ranjivosti“ usled plavljenja.

Osnova za procenu šteta u poljoprivredi je prosečni *godišnji prinos*. Vrednost prinosa se definiše za svaku kulturu posebno i izražava u novčanim jedinicama po jedinici površine [€/ha]. Godišnja vrednost imovine za kategoriju

„*pašnjaci/livade*“ računa se pod pretpostavkom da rast trave daje tri „*žetve*“ godišnje, pa se na osnovu jedinične cene može sračunati ukupna godišnja cena. (Na primer, ako je ukupni prinos 50 m³/ha, a jedinična cena trave oko 15 €/m³, godišnja vrednost iznosi 50×15=750 €/ha.)

U nedostatku pouzdanih podataka, vrednost imovine za kategoriju „*šume*“ procenjuje se na osnovu vrednosti godišnjeg „*prinosa*“ sirovog drveta. Prema nemačkim preporukama [9], mogu se uzeti sledeće prosečne vrednosti: listopadne šume: 990 €/ha, četinarske šume: 630 €/ha i mešovite šume: (990+630)/2 = 810 €/ha.

2.4 Funkcije štete

Fukcije štete predstavljaju zavisnosti između dubine plavljenja i vrednosti plavljenjem ugrožene imovine – potencijalne štete. Funkcije štete, koje imaju vrednosti između 0 (nema štete) i 1 (totalna šteta, potpuni gubitak imovine), karakteriše početak (prva pojava štete), najveća vrednost (maksimum funkcije) i oblik funkcije. Moguća su dva tipa ovih funkcija; jedan, zasnovan na *stvarnim* štetama (registrovanim u prošlosti) i drugi, na *sintetičkim* štetama. Sintetičke funkcije štete, koje se u nastavku razmatraju, koriste se u prognostičke svrhe, najčešće za potrebe ekonomskih analiza dobiti i troškova („benefit-cost“), u sklopu projekata sistema za zaštitu od poplava. U nemačkoj praksi važe sledeće preporuke za izradu sintetičkih funkcija štete u urbanim područjima [5, 9]:

- (i) formirati klase objekata na osnovu njihove veličine;
- (ii) za svaku klasu odabrati nekoliko reprezentativnih stambenih objekata i proceniti njihovu vrednost, kao i vrednost inventara u tim objektima. Vrednost štete se određuje na osnovu karakterističnih kota iznad i ispod nivoa terena, pri čemu snimanje na terenu zvanično obavlja akreditovana geodetska služba;
- (iii) osrednjavanjem šteta na reprezentativnim objektima, dobija se merodavna vrednost štete za svaku klasu objekata, a uzimanjem u obzir porast štete sa dubinom plavljenja, dolazi se do traženih funkcija štete.

Za sada ne postoji opšte prihvaćena metodologija za konstrukciju ovih funkcija, jer odražavaju lokalne uslove. Zato se, od zemlje do zemlje, veoma razlikuju. Ilustracije radi, u Tabeli 2 i na Slici 1 date su funkcije potencijalnih šteta za reke Rajnu i Elbu u Nemačkoj¹.

¹U ovoj zemlji je sistematski rad na proceni šteta započeo još 1985. godine. Svi podaci se obrađuju pomoću posebno razvijenog softverskog sistema HOWAS, koji služi za klasifikaciju objekata i obradu podataka u skladu sa nizom specifičnih kriterijuma (hidroloških, hidrauličkih, namene površina i drugih). Sistem se sastoji od nekoliko modula za manipulaciju podataka (učitavanje, ispitivanje, administriranje, selekcija, povezivanje, analiza i obrada). Rezultati se štampaju ili arhiviraju za potrebe korišćenja drugih softverskih paketa.

Tabela 2. Funkcije štete koje se koriste u Nemačkoj [9].
(α - faktor štete [%], h - dubina vode [m])

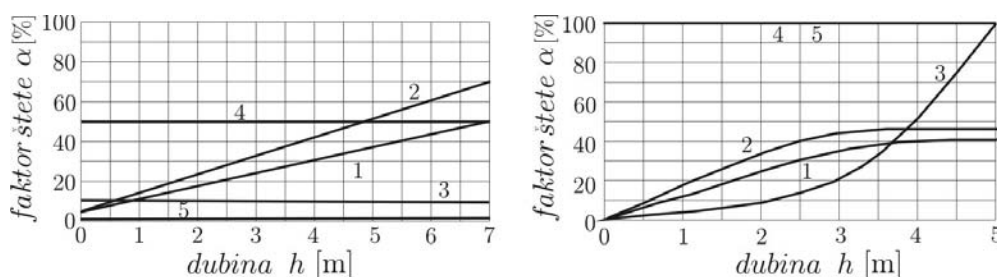
Namena površina	Funkcija štete	
	IKSR (Rajna)	IKSE (Elba)
Naselja	$\alpha = 6,4 h + 4,9$	$\alpha = -2 h^2 + 18 h$
Industrija	$\alpha = 9,6 h + 6$	$\alpha = -3,3 h^2 + 24,4 h$
Infrastruktura	$\alpha = 10$	$\alpha = 2 h^3 - 8 h^2 + 12 h$
Poljoprivreda	$\alpha = 50$	$\alpha = 100$
Pašnjaci/livade	$\alpha = 50$	$\alpha = 100$
Šume	$\alpha = 1$	$\alpha = 100$

Za poljoprivredno zemljište može se uvesti uprošćenje da je faktor štete ne zavisi od dubine i trajanja plavljenja. Za obradivo zemljište se može smatrati da plavljenje izaziva

gubitak useva od 50%, kao u slučaju reke Rajne, ili čak 100%, kao u slučaju reke Elbe (Tabela 2).

Pretpostavka da je faktor štete za pašnjake i livade 50 % podrazumeva da u poplavi strada samo jedna „žetva“ trave godišnje.

Kada su šume u pitanju, faktor štete ne zavisi od dubine plavljenja, ali zavisi od njegovog trajanja; kratkotrajna poplava ima nisku vrednost faktora štete (slučaj reke Rajne), a dugotrajna poplava izaziva totalnu štetu od 100 % (slučaj reke Elbe, Tabela 2). Sve ovo ukazuje na činjenicu da je formiranje funkcija potencijalnih šteta od poplava vezano za svojstva vodotoka i mnoštvo lokalnih okolnosti.



Slika 1. Funkcije šteta od poplava u dolini raka Rajne (levo) i Elbe (desno): 1 – naselja, 2 – industrija, 3 – saobraćajna infrastruktura, 4 – poljoprivreda, pašnjaci/livade, 5 – šume [9].

2.5 Potencijalna godišnja šteta

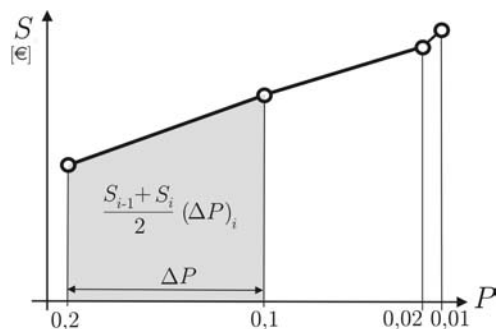
Kako su plavni događaji slučajnog karaktera, potencijalna šteta se ne može sa sigurnošću predvideti. Može se samo statistički proceniti i izraziti kao *očekivana godišnja šteta*. Ova šteta, koja zavisi od veličine plavnog područja, dubine plavljenja i namene površina, obuhvata poplave raznih povratnih perioda, odnosno verovatnoće pojave [9, 11]:

$$\bar{S} = \int_{P_0}^{P_{\max}} S(P) dP \approx \sum_{i=1}^m \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \cdot \Delta P_i \quad (1)$$

gde je \bar{S} - očekivana godišnja šteta [€/god], $S(P)$ - šteta [€] usled plavnog događaja verovatnoće pojave P , P_0 - verovatnoće najmanje poplave koja izaziva štetu [1/god]; P_{\max} - verovatnoća najveće razmatrane poplave [1/god], i - povratni period.

Izraz (1) pokazuje da se integral rešava numerički, primenom trapeznog pravila, iz parova vrednosti (S_i, P_i) , gde je m - ukupni broj plavnih događaja, dok je inkrement verovatnoće: $\Delta P_i = P_{i+1} - P_i$.

Da bi se odredila očekivana godišnja šteta, neophodno je da se prethodno sračunaju potencijalne štete za poplave različitih verovatnoća (povratnih perioda). Za svaku od tih poplava, uzimaju se u obzir odgovarajuće površine i dubine plavljenja. Koristeći sintetičke funkcije šteta, računaju se specifične štete za razne namene površina, a njihovim sabiranjem, dolazi se do ukupne potencijalne štete za svaku od razmatranih poplava. Očekivana godišnja šteta se dobija numeričkom integracijom funkcije potencijalnih šteta, kao što pokazuje jednačina (1) i crtež na Slici 2.



Slika 2. Očekivana godišnja šteta računa se numeričkom integracijom funkcije potencijalnih šteta $S(P)$; granice $P_0 = 0,2$ i $P_{\max} = 0,01$ se usvajaju.

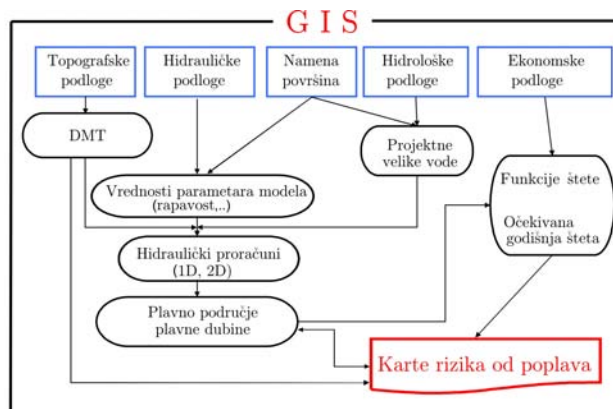
3. KARTIRANJE ŠTETA I RIZIKA

Savremeni pristup u kartiranju šteta i rizika nalaže primenu Geografskih Informacionih Sistema (GIS), u vidu komercijalnih ili besplatnih softverskih paketa². Ne ulazeći u tematiku GISa, u nastavku se ukazuje samo one njegove mogućnosti koje su u vezi sa obradom potencijalnih šteta od poplava.

Prednost korišćenja GISa u oblasti zaštite od poplava je da pruža *integrativno softversko okruženje* za sve neophodne proračune (hidrološke, hidrauličke, ekonomske, planerske i druge), kao što je shematski prikazano na Slici 3. Grafička podrška koju nude GIS paketi omogućavaju efikasan način prenošenja i kombinovanja raznih podataka, kao što je shematski prikazano na Slici 3. Na Slici 4 je prikazan način proračuna ukupne potencijalne štete za poplavu određene verovatnoće, $S(P)$. Oblast se diskretizuje pravougaonom mrežom, pri čemu je pogodno ako jedno polje mreže odgovara jediničnoj površini. Svaka kategorija namene površina ima svoju mrežu. Specifična (jedinična) vrednost materijalnih dobara za datu namenu površine, izražena u novčanim jedinicama po jedinici površine [$\text{€}/\text{m}^2$] dobija se kao količnik:

$$V_1^{(k)} = V^{(k)} / \Omega^{(k)}, \quad (2)$$

gde je $V^{(k)}$ – ukupna vrednost materijalnih dobara [€], a $\Omega^{(k)}$ površina oblasti [m^2] namene (k).



Slika 3. Kombinovanje ulaznih podataka i rezultata raznih proračuna u GIS okruženju; za hidrauličke proračune mogu se koristiti modeli linijskog (1D) tečenja (kao što je na primer, HEC-RAS/GeoRAS [13]), ili ravanskog (2D) tečenja [4].

Veličina definisana izrazom (2) predstavlja potencijalno najveću moguću („totalnu“) štetu na području date namene.

Potencijalna specifična (jedinična) šteta definiše se na nivou svakog polja (Slika 4):

$$S_{ij}^{(k)} = \alpha_{ij}^{(k)} \cdot V_1^{(k)} \quad [\text{€}/\text{m}^2], \quad (3)$$

gde je $\alpha_{ij}^{(k)} = \alpha(h_{ij})$ – faktor štete za datu namenu površine, a h_{ij} – dubina vode u polju (i, j) pri poplavi verovatnoće P .

Ukupna potencijalna specifična (jedinična) šteta za namenu površine k iznosi:

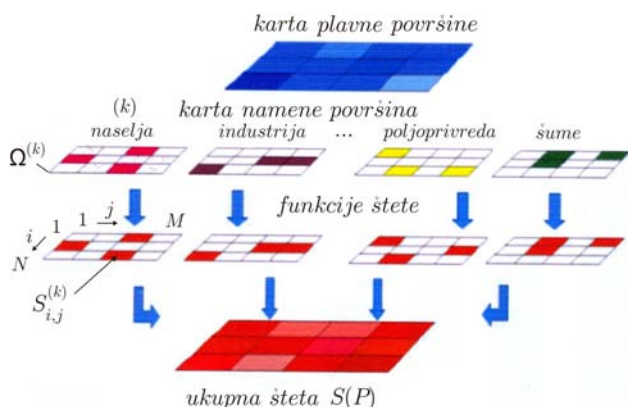
$$S_1^{(k)} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M S_{ij}^{(k)} \quad [\text{€}/\text{m}^2], \quad (4)$$

gde simboli N i M označavaju ukupan broj polja po redovima i kolonama mreže (Slika 4).

Ukupna potencijalna šteta za namenu površine k biće:

$$S^{(k)} = S_1^{(k)} \cdot \Omega^{(k)} \quad [\text{€}]. \quad (5)$$

²Jedan od najpoznatijih GIS paketa je ArcView[®] [8], koji je direktno povezan sa hidrauličkim paketom HEC-RAS preko dodatka GeoRAS [13]. Softverski paket Ilwis[®] (Integrated Land and Water Information System, <http://www.itc.nl/ilwis/>), služi kao podrška projektima uređenja slivova, a namenjen je zemljama u razvoju; od 1996. godine, ovaj GIS alat se široko koristi u edukaciji, nauci i privredi u preko 100 zemalja širom sveta.



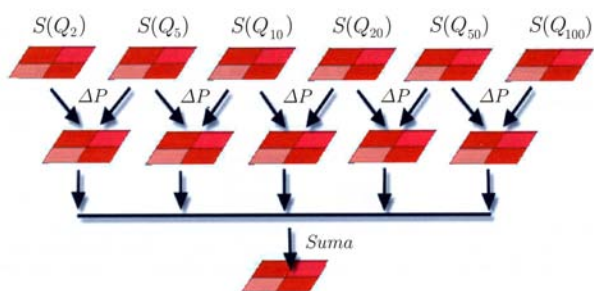
Slika 4. Kombinovanje raznih podataka pri proceni ukupne potencijalne štete za poplavu određenog povratnog perioda [3, 4, 9, 10, 12].

Sabiranjem doprinosa svih namena površina, dobija se *potencijalna šteta*, koja se može iskazati na dva načina – kao specifična (jedinična) ili ukupna šteta:

$$S(P) = \begin{cases} \sum_{k=1}^L S_1^{(k)} & [\text{€/m}^2] \\ \sum_{k=1}^L S^{(k)} & [\text{€}], \end{cases} \quad (6)$$

gde L predstavlja broj svih, po nameni kategorisanih površina.

Na osnovu sračunatih šteta za poplave raznih verovatnoća (povratnih perioda), može se sračunati očekivana godišnja šteta, kao što je shematski prikazano na Slici 5.



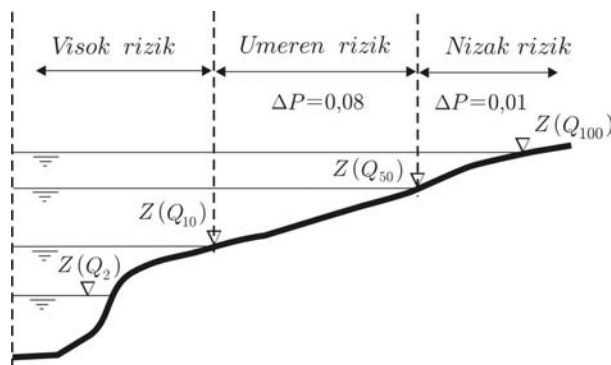
Slika 5. Proračun očekivne godišnje štete [3, 4, 9, 10, 12].

Opisani postupak odnosi se na materijalne posledice plavnih događaja kroz verovatnoće njihove pojave. Dobijeni rezultati su jasni ljudima iz struke, ali ne moraju biti razumljivi ljudima iz administracije, donosiocima odluka, planerima i drugim kadrovima, kao i široj javnosti, uklju-

čujući stanovnike koji su direktno ugroženi poplavama. Za njih je neophodan jednostavan, lako razumljiv način prezentacije šteta i odgovarajućeg rizika. Rešenje je *karta rizika od poplava*. Ova karta je zasnovana na klasifikaciji rizika prema učestalosti poplava i visini štete, ili prema visini osiguranja od poplava. Definisana su tri stepena rizika: „visok“, „umeren“ i „nizak“. Radi lakšeg prepoznavanja, zone visokog, umerenog i niskog rizika prikazuju se u bojama. Kartiranje rizika do sada nije standardizovano. Jedan način koji se koristi u Nemačkoj, zasnovan na povratnom periodu, prikazan je u Tabeli 3 i na Slici 6.

Tabela 3. Zoniranje rizika u Nemačkoj [9,10].

Stepen rizika	Boja	Povratni period
nizak	zelena	> 50 godina
umeren	žuta	10 - 50 godina
visok	crvena	< 10 godina



Slika 6. Zone hazarda po klasifikaciji nemačkih osiguravajućih društava [9, 10].

3. ISKUSTVA IZ NAŠE PRAKSE

U našoj zemlji tek treba da započne posao sistemskog kartiranja poplavama ugroženih područja. Ovo obuhvata izradu sopstvenih sintetičkih funkcija štete, što podrazumeva uspostavljanje određenih kriterijuma za kategorizaciju objekata i imovine, kao i procedure za obračun šteta na poljoprivrednim i šumskim područjima. Ozbiljan problem za formiranje zavisnosti štete od dubine plavljenja predstavlja nedostatak digitalnih geodetskih podloga u krupnoj razmeri (1:1000 – 1:5000). Priprema ovih podloga zahteva značajna materijalna ulaganja i duže vreme, čak i ako se primene najsavremenije metode daljinske detekcije. Tek posle ove pripreme faze biće stvoreni uslovi za kartiranje rizika od poplava, sa konačnim ciljem da ovakve karte uđu u masovno korišćenje (vodoprivreda, prostorno planiranje, promet i osiguranje nekretnina itd.).

Drugi aktuelni problem je nedostatak pouzdanih podloga za klasifikaciju namene površina. Izvesan napredak u tom pogledu predstavlja uvođenje baze podataka CORINE LAND COVER (LAND USE), koja daje karte u elektronskom formatu, u razmeri 1:100000. Više informacija se može naći na internet starnicama:

http://www.evrogeomatika.co.rs/index_corine_srp.html

<http://www.eea.europa.eu/themes/landuse/clc-download>.

I pored toga što se sa kartiranjem rizika u našoj zemlji neopravdano kasni, stečena su izvesna iskustva u okviru istraživačke i nastavne delatnosti univerzitetskih centara. Građevinski fakultet iz Beograda je učestvovao u dva razvojna projekta iz ove oblasti - međunarodnom projektu unapređenja upravljanja u vodoprivredi sa Tehničkim Univerzitetom iz Hamburga [9] i nacionalnom projektu iz programa tehnološkog razvoja [3]. Pored toga, ova materija je uključena u program međunarodnih poslediplomskih studija koje organizuje nekoliko univerziteti putem učenja na daljinu (e-learning) [1, 4], kao i u program redovnih i doktorskih studija na Građevinskom fakultetu u Beogradu. U nastavku se prikazuju rezultati rada na kartiranju rizika na izabranim deonicama reke Jadar [3, 10] i Topčiderske reke [12]. Rešavanjem konkretnih problema procene šteta i kartiranja rizika, stečena su dragocena iskustva za razvoj metodologije koja bi se koristila i za druge naše reke.

3.1 Reka Jadar

Ova reka, desna pritoka Drine, tipičan je bujični vodotok, poznat po čestim poplavama. Veličina njegovog sliva je 878 km², sa vododelnicom dužine 166,5 km (Slika 7).

Ulazni podaci. Ovi podaci se sastoje od: topografskih, hidroloških, hidrauličkih i ekonomskih podataka, kao i podataka o nameni površina.

(1) *Topografski podaci.* Osnovu čine situacioni planovi u razmeri 1:5000 za deonicu dužine 9 km, kod Osečina. Skeniranjem papirnih karata, formirane su digitalne karte u raster (TIF) formatu, koje su georeferencirane. Zatim je obavljena vektorizacija i izrada digitalnog modela terena (DMT, Slika 8).

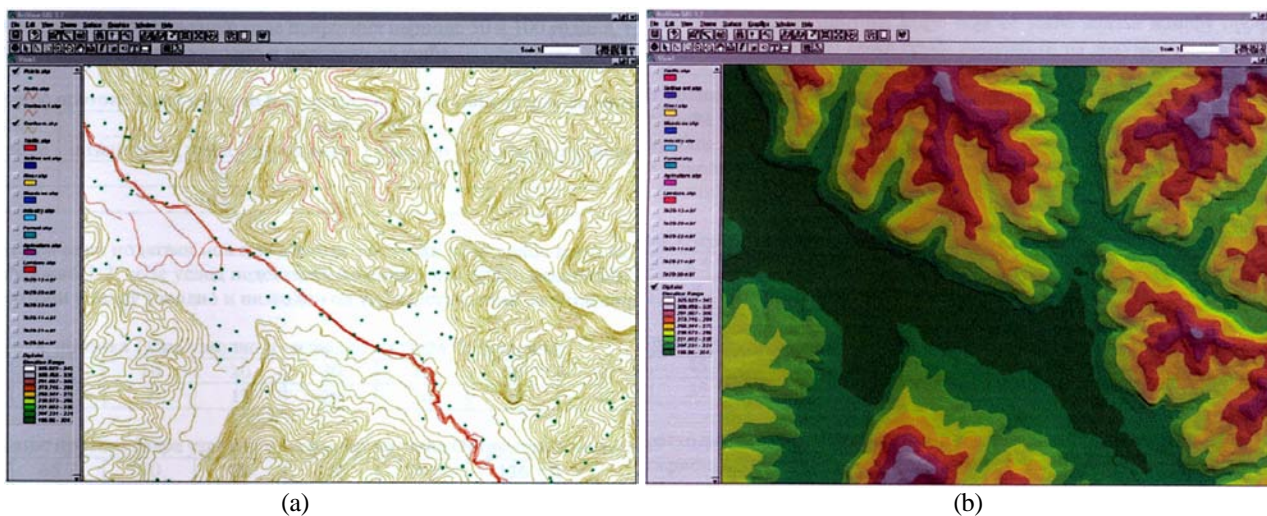
Za određivanje geometrije rečnog korita („batimetrije“) preduzeta su terenska merenja. Snimljeno je ukupno 133 poprečna profila na razmaku 5 – 130 m, u skladu sa zahte-



Slika 7. Sliv reke Jadar sa razmatranom deonicom kod mesta Osečina, dužine oko 9 km. U gornjem delu sliva, Jadar ima obeležje bujičnog vodotoka (uzdužni nagib korita $I_d = 2,24 - 0,19 \%$), dok u donjem delu sliva, prima obeležje aluvijalnog vodotoka (u proseku $I_d = 0,12 \%$) [3].

vima stabilnosti i tačnosti hidrauličkih proračuna [3]. Treba naglasiti da tačnost hidrauličkih proračuna presudno zavisi od kvaliteta DMT. Naime, broj snimljenih tačaka u inundacijama je manji od onog u glavnom koritu, pa je i topografska tačnost inundacija značajno manja od one za glavno korito.

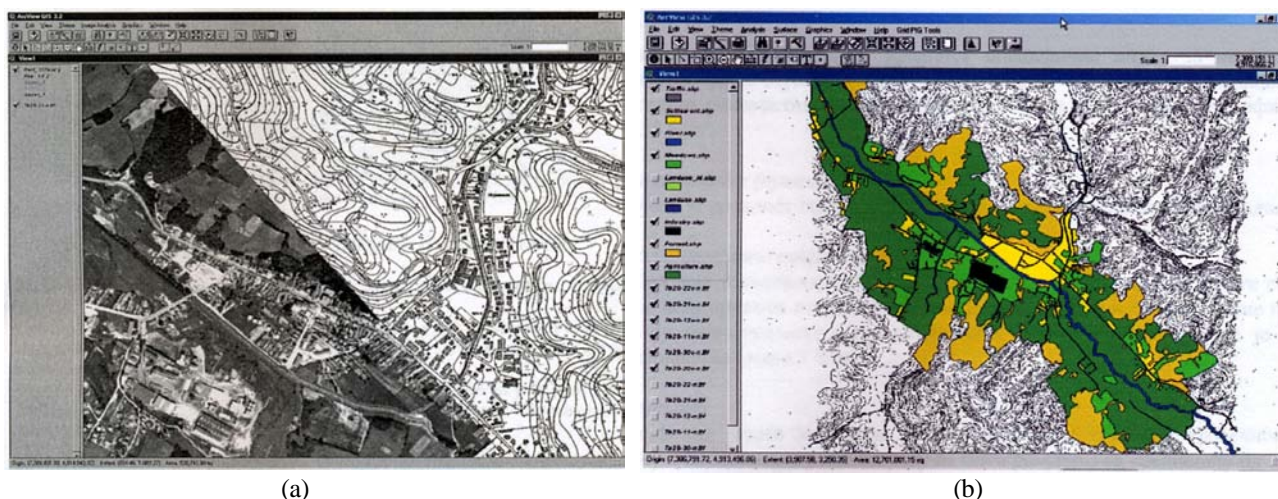
(2) *Podaci o nameni površina.* Ovi podaci se koriste u proračunima površinskog oticaja i za određivanje specifične štete, a zatim i očekivane godišnje štete. Najpouzdaniji način podele razmatranog područja prema nameni površina je korišćenje aerofotogrametrijske dokumentacije. U konkretnom slučaju, fotografije su georeferencirane i prilagođene razmeri 1:5000 pomoću odgovarajućih topografskih karti (Slika 9-(a)). Ovo je obavljeno afinom transformacijom sa 4 karakteristične tačke, pomoću specijalizovanog softverskih alata (Image Analyst paketa ArcView).



(a)

(b)

Slika 8. (a) Tipičan ekran za prikaz topografskih podloga u softverskom paketu ArcView: digitizovane izohipse, pojedinačne tačke i batimetrija rečnog korita. (b) Digitalni model terena (DTM), formiran pomoću nepravilne mreže trougaonih elemenata (TIN) [3, 10].



(a)

(b)

Slika 9. (a) Georeferencirane aerofotografije i karte u razmeri 1:5000. (b) Karta nemene površina formirana u softverskom paketu ArcView [3, 10].

Analizirajući aerofotografsku dokumentaciju, identifikovani su sledeći tipovi namene površina: naselja, industrija, saobraćajna infrastruktura, poljoprivreda (obrađivo zemljište), pašnjaci/livade i šume. Površine određene namene kartirane su u vidu poligona, u posebnom sloju (layer-u) „namena površina“ (Slika 9-(b)). Svakom poligonu dodeljena je određena vrednost hidrauličke rapavosti, kao i vrednost faktora štete, ili alternativno, vrednost specifične štete.

(3) *Hidrološki podaci*. Ovi podaci su dobijeni statističkom obradom snimljenih nivoa u višegodišnjem periodu na hidrološkoj stanici nizvodno od razmatrane deonice, pri čemu su statistički određene i krive protoka za svaku pritoku Jadra. Velike vode su definisane u zavisnosti od povratnog perioda; na primer, 50-godišnja velika voda iznosi oko $100 \text{ m}^3/\text{s}$, a 100-godišnja, oko $130 \text{ m}^3/\text{s}$ [3, 10].

(4) *Hidraulički podaci*. Vrednosti koeficijenta rapavosti kalibrisane su za glavno rečno korito, dok su za inunda-

cije, procenjene indirektno, pomoću fotografija snimljenih tokom obilaska terena. U naselju Osečina korito Jadra, regulisano na dužini od 700 m, obloženo je kamenom. Neposredno uz glavno korito izgrađeni su na obe obale nasipi visine 1,5 m, po celoj dužini regulisanog korita. Kamen i trava su osnovni elementi za procenu rapavosti na ovoj deonici. Uzvodno i nizvodno od regulisane deonice, rapavost je uslovljena raznim tipovima vegetacije. U hidrauličke podloge spadaju i podaci o mostovima, prikupljeni u toku obilaska terena.

(5) *Ekonomski podaci.* Od interesa su dva osnovna ekonomska parametra: najveća specifična šteta po jedinici površine (S_{max}) i faktor štete (α), koji, kao što je rečeno, predstavlja procentualni iznos najveće štete u zavisnosti od dubine plavljenja i namene površina.

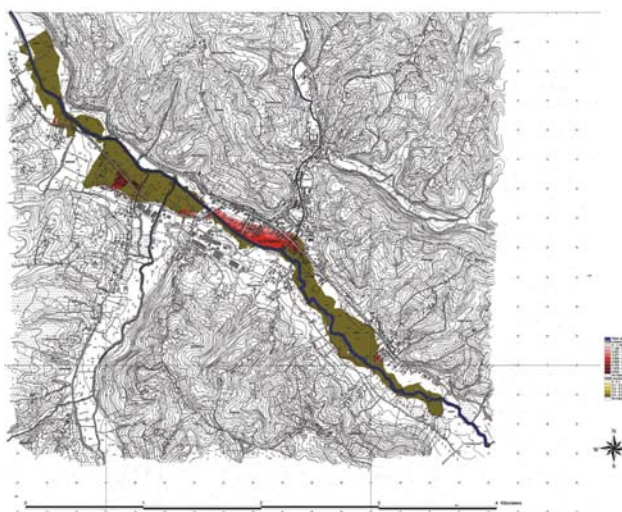
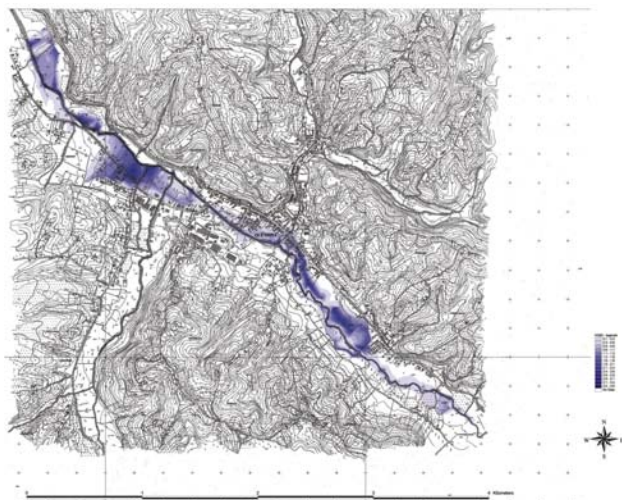
Specifična šteta. Za svaku kategoriju namene površina ova šteta je računata je na osnovu vrednosti dobara i prinosa po jedinici površine. U slučaju doline Jadra, glavna poljoprivredna kultura je kukuruz. Štete koje se nisu mogle lako kvantifikovati, procenjene su na osnovu podataka iz nemačke kategorizacije, redukujući vrednosti shodno našim uslovima. Konkretno su dobijene ove vrednosti: naselja: 50 €/m²; industrija: 35 €/m²; saobraćajna infrastruktura: 15 €/m²; poljoprivreda: 1 €/m²; pašnjaci i livade: 1 €/m²; šume: 1 €/m².

Može se primetiti da su specifične štete u ruralnom području (obrađivo zemljište, pašnjaci, livade i šume), značajno niže od šteta u urbanom području (stambeni i industrijski objekti, infrastruktura), pa su formirane dve karte rizika - jedna za ruralno, a druga, za urbano područje.

Funkcije štete. U slučaju Jadra, ispitana je mogućnost korišćenja originalnih ili neznatno modifikovanih funkcija IKSR (Tabela 2, Slika 1).

Plavno područje. Granice plavnog područja određene su na osnovu proračuna ustaljenog linijskog tečenja za sve velike vode definisane hidrološkim podlogama. Ilustracije radi, na Slici 10 je prikazana plavna zona povratnog perioda 50 godina.

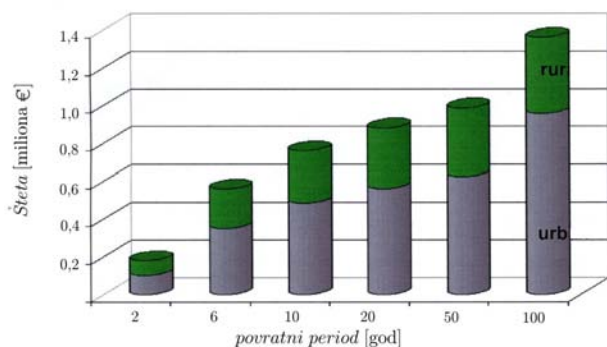
Potencijalne štete. GIS je omogućio da se obrada rezultata efikasno obavi na mnoštvu jediničnih površina, od kojih je svakoj pridružen skup atributa sa informacijama o nameni, dubini plavljenja, specifičnoj šteti itd. Ukupna šteta [€] dobijena je sabiranjem šteta po svim jediničnim površinama određene namene, prema shemi na Slici 4.



Slika 10. Karta plavnog područja (gore) i odgovarajuća karta potencijalne štete (dole), za poplavu povratnog perioda 50 godina [3, 6].

Na taj način su sračunate potencijalne štete za povratne periode 2, 10, 50 i 100 godina. Ovi podaci su grafički prikazani kartama potencijalnih šteta. Ilustracije radi, karta štete povratnog perioda 50 godina prikazana je na Slici 10.

Relativni odnos potencijalnih šteta za razmatrano urbano i ruralno područje sliva reke Jadar grafički je prikazan na Slici 11.



Slika 11. Zavisnosti potencijalne štete od povratnog perioda za urbano i ruralno područje [3, 10]; može se primetiti da su štete na urbanom području veće, što nije samo posledica većih specifičnih šteta, već i naglog porasta vrednosti faktora štete sa dubinom plavljenja, dok faktori štete za ruralno područje ne zavise od dubine plavljenja.

Tabela 4. Proračun očekivane godišnje štete [3, 10].

T_i [god]	P_i [1/god]	ΔP_i [1/god]	Q [m ³ /s]	$S(P_i)$ [€]	$S_{sr} \cdot \Delta P_i$ [€/god]	$\sum S_{sr} \cdot \Delta P_i$ $\times 10^3$ [€/god]
2	0,50		23	182231		
		0,30			111184	111,18
5	0,20		46	558997		
		0,10			66020	177,20
10	0,10		63	761407		
		0,05			41074	218,28
20	0,05		80	881534		
		0,03			28048	246,33
50	0,02		104	988338		
		0,01			11766	258,09
100	0,01		126	1364896		

Kartiranje rizika. U datom slučaju, štete počinju sa poplavom povratnog perioda 2 godine. Zoniranje rizika zasnovano je na hidrološko-hidrauličkim kriterijumima (Tabela 3, Slika 6), kao i očekivanoj *specifičnoj* godišnjoj šteti [€/m² god]. Ova šteta je računata za svaku namenu površine, urbanog i ruralnog područja. Za procenu vrednosti faktora štete u naseljima i industriji, tri stepena rizika definisana su dubinom plavljenja u mestu Osečina:

$h_{2-10}=2,65$ m, $h_{10-50}=3,27$ m i $h_{50-100}=3,65$ m. Visina specifične godišnje štete zavisi od dubine plavljenja, tako da se može grafički prikazati prostorni raspored štete za svaki povratni period.

Očekivana godišnja šteta. Na osnovu sračunatih potencijalnih šteta za povratne periode od 2, 5, 10, 20, 50 i 100 godina, shodno izrazu (1) određena je očekivana godišnja šteta (Tabela 4).

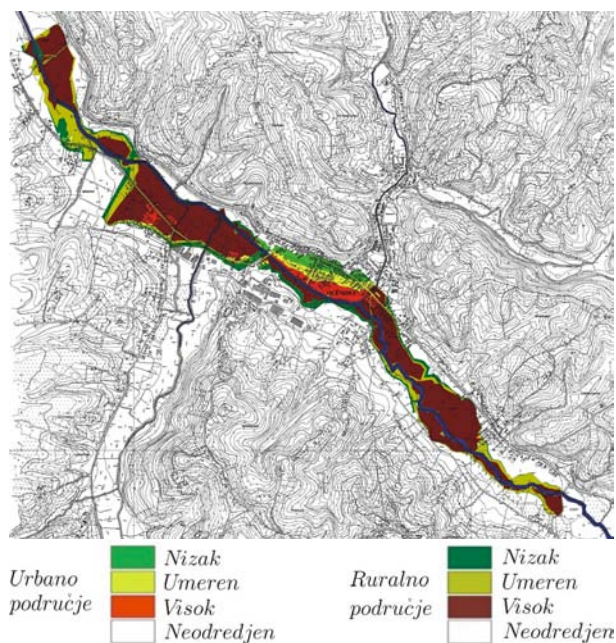
Može se konstatovati da se, uzевši u obzir poplave povratnih perioda do 100 godina, na deonici kod mesta Osečina može očekivati godišnja šteta od oko 260000 €. Iz rezultata u Tabeli 4, takođe se može uočiti da sa porastom povratnog perioda (a smanjenjem verovatnoće pojave), štete rastu, ali sa sve manjim priraštajima ΔP . Usled značajnog opadanja ovog priraštaja, praktično nije neophodno računati sa povratnim periodima većim od 100 godina.

„Prekalapajući“ karte šteta i plavnih površina, određene su granice rizika (Tabela 5).

Tabela 5. Granice rizika za Jadar kod Osečine [10].

Stepen rizika	Urbano područje naselja industrija infrastruktura	Ruralno područje poljoprivred. zemljište pašnjaci i livade šume
	[€/m ² god]	
Nizak	0 – 0,144	0 – 0,005
Umeren	0,144 – 1,192	0,005 – 0,045
Visok	> 1,192	> 0,045

Navedena 3 stepena rizika – „nizak“, „umeren“ i „visok“ prikazani su različitim bojama, kao što se može videti na Slici 12. Već je rečeno da ova karta, namenjena široj javnosti, u sebi objedinjuje poplave raznih povratnih perioda.



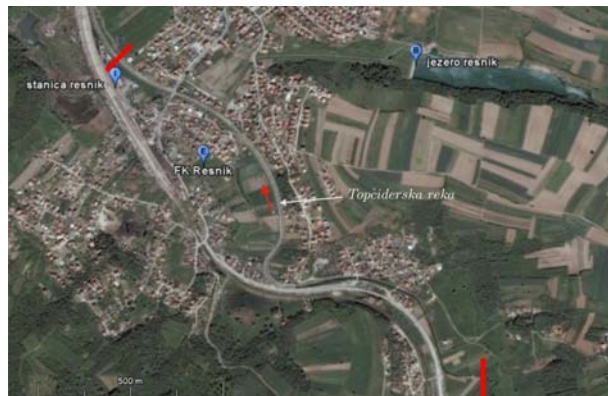
Slika 12. Karta rizika od plavljenja za dolinu Jadrta kod mesta Osečina [3, 10].

3.2 Topčiderska reka

Na Slici 13 prikazan je deo sliva Topčiderske reke u blizini naselja Resnik, sa regulisanom deonicom dužine 2 km. Za ovo urbanizovano slivno područje od interesa su posledice retkih poplavnih događaja, povratnog perioda 200, 500 i 1000 godina: $Q_{200}=108 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{500}=130 \text{ m}^3/\text{s}$ i $Q_{1000}=146 \text{ m}^3/\text{s}$ [12].

Za razmatrano područje izrađen je digitalni model terena u programskom paketu Arc View GIS. Prema nameni površina, uvedene su sledeće kategorije: naselja, saobraćajna infrastruktura (železnička pruga, opštinski i nekategorisani putevi), poljoprivredno zemljište i travnate površine. Ova podela je korišćena u hidrološkom proračunu površinskog oticaja, a u hidrauličkoj analizi, za procenu vrednosti Maningovog koeficijenta otpora u inundacijama.

Specifične štete. Za svaku oblast određene namene, sračunate su potencijalne jedinične štete, kao količnik ukupne vrednosti materijalnih dobara i površine te oblasti.



Slika 13. Deo sliva Topčiderske reke sa granicama računске deonice [12].

Naselja. Na razmatranom području postoji 273 relativno nova stambena objekta. Za reprezentativan objekat je izabrana porodična kuća površine 200 m^2 , sa cenom izgradnje od 950 €/m^2 . Cena objekta uvećana je za 15 % da bi se obuhvatila vrednost okućnica i pomoćnih objekata.

Pretpostavljena vrednost pokretne imovine po jedinici površine stambenog prostora (kućnog „inventara“) iznosi 600 €/m^2 [12]. Takođe je pretpostavljeno da svaka porodična kuća ima bar jedno putničko vozilo. Vrednosti svih materijalnih dobara procenjene su prema njihovoj trenutnoj vrednosti. Detalji proračuna dati su u Tabeli 6.

Saobraćajna infrastruktura. Ova kategorija namene površina obuhvata železničku prugu, opštinske i nekategorisane puteve. U nedostatku pouzdanih podataka, pretpostavljeno je da je cena rekonstrukcije poplavom oštećene saobraćajne infrastrukture približno jednaka ceni njene izgradnje. Na osnovu dužine koloseka i širine železničkog koridora, kao i jedinične cene izgradnje pruge, došlo se do jedinične štete od 583 €/m^2 [12].

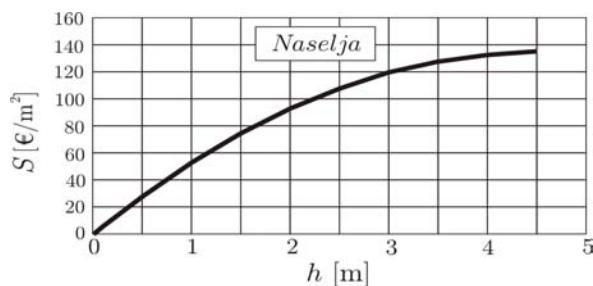
Na sličan način određena je i cena izgradnje/rekonstrukcije puteva; jedinična šteta za opštinske puteve iznosi oko 160 €/m^2 , a za nekategorisane puteve, 10 €/m^2 [12].

Zemljište. Imajući u vidu neke evropske podatke i domaće cene poljoprivrednih kultura, usvojena je jedinična šteta za poljoprivredne površine od 23 €/m^2 . Jedinična šteta za travnate površine iznosi $0,1 \text{ €/m}^2$ [12].

Tabela 6. Proračun specifične (jedinične) štete za naseljene površine u slivu Topčiderske reke u Beogradu [12].

(1)	Površina pod stambenim objektima	289908,06 m ²
(2)	Broj objekata	273 -
(3)	Prosečna površina objekta	200 m ²
(4)	Jedinična cena izgradnje objekta	950 €/m ²
(5)	Prosečna vrednost objekta $1,15 \times (3) \times (4)$	218500 €
(6)	Vrednost nepokretne imovine (objekata) $(2) \times (5)$	59650500 €
(7)	Prosečna jedinična vrednost stambenog inventara	600 €/m ²
(8)	Vrednost stambenog inventara $(2) \times (3) \times (7)$	32760000 €
(9)	Broj privatnih motornih vozila	273 -
(10)	Prosečna vrednost vozila	15000 €
(11)	Vrednost privatnih motorinih vozila $(9) \times (10)$	4095000 €
(12)	Vrednost pokretne imovine $(8)+(11)$	36855000 €
(13)	Ukupna vrednost materijalnih dobara $(6)+(12)$	96505500 €
(14)	Specifična (jedinična) šteta $(13)/(1)$	332,88 €/m²

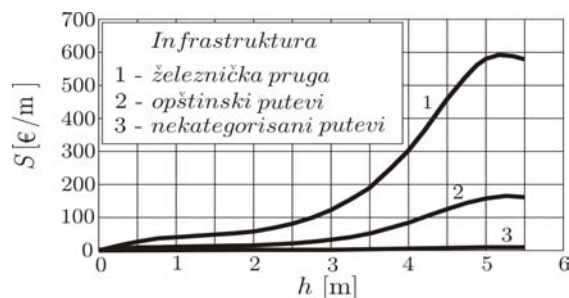
Funkcije štete. U konkretnom slučaju je procenjeno da je funkciju štete u naseljenoj oblasti najprikladnije definisati prema faktoru štete IKSE (Tabela 2 i Slika 1), jer je taj faktor izveden statističkom obradom velikog broja podataka o stambenim objektima prigradskog tipa (porodična kuća sa okućnicom). Na osnovu funkcije IKSE (Tabela 2) i jedinične štete (Tabela 6), dobijena je funkcija prikazana na Slici 14-(a). (Na primer, za dubinu od 1,0 m, faktor štete prema IKSE iznosi $\alpha = 16\%$, što daje $0,16 \times 332,88 = 53,26 \text{ €/m}^2$.)



(a)

Na sličan način, na osnovu IKSE faktora i jedinične štete za saobraćajnu infrastrukturu, izvedena je funkcija prikazana na Slici 14-(b).

Funkcija štete za poljoprivredno zemljište formirana je prema IKSR funkciji (Tabela 2 i Slika 1), jer je procenjeno da ova funkcija više odgovara našim uslovima. Faktor IKSR ima konstantnu vrednost 50 % pri svim dubinama vode. Na osnovu toga proizilazi da jedinična šteta za poljoprivredno zemljište iznosi $11,5 \text{ €/m}^2$, a za travnate površine, $0,05 \text{ €/m}^2$, bez obzira na dubinu plavljenja.

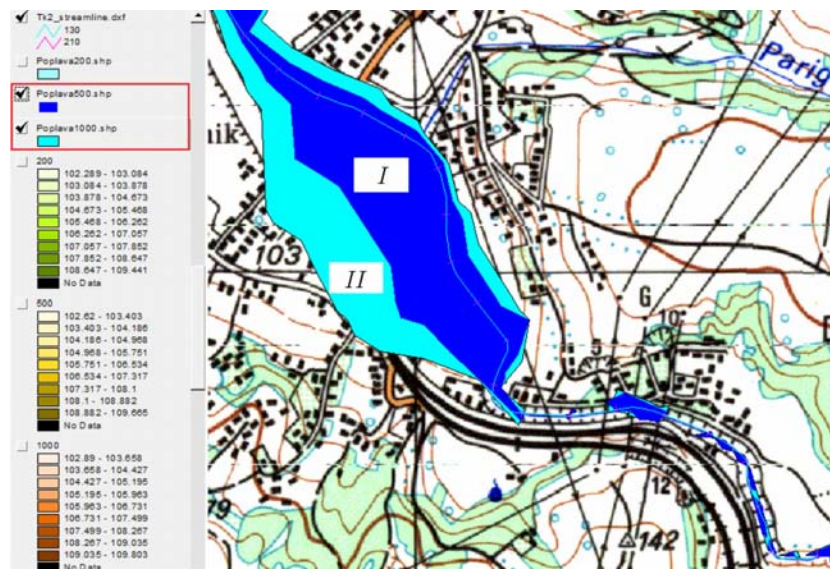


(b)

Slika 14. Funkcije potencijalne štete na razmatranom delu sliva Topčiderske [12].

Plavno područje. Na osnovu proračuna linijskog ustaljenog tečenja pomoću programskog paketa HEC-RAS, konstatovano je da do neznatnog izlivanja iz rečnog korita dolazi u nekoliko profila pri protoku Q_{200} , a da značajno plavljenje priobalja dolazi tek pri velikim vodama povratnih perioda 500 i 1000 godina.

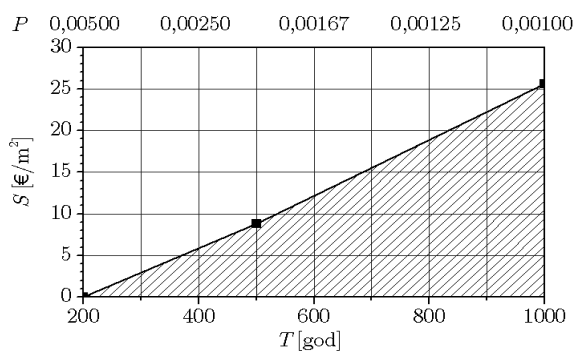
Na Slici 15 prikazano je plavno područje pri velikim vodama Q_{500} i Q_{1000} . Sa inundacionih karti očitane su dubine plavljenja, koje su neophodne za proračun očekivane godišnje štete.



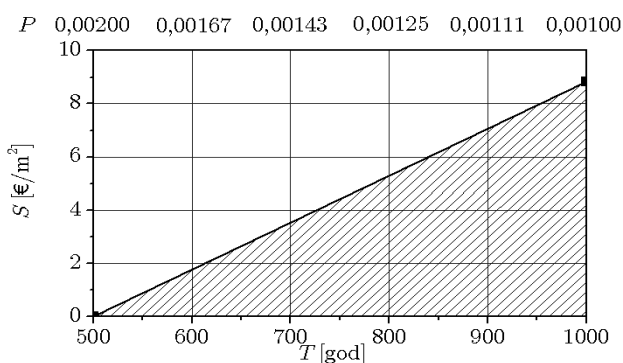
Slika 15. Plavno područje u dolini Topčiderske reke; simbol „I” označava oblast plavljenja pri talasima povratnih perioda 500 i 1000 godina, a simbol „II” - oblast koja se plavi samo pri talasu povratnog perioda 1000 godina. Prosečna dubina plavljenja u oblasti I iznosi 0,16 m pri 500-godišnjoj, a 0,45 m pri 1000-godišnjoj velikoj vodi; pri istoj velikoj vodi, prosečna dubina plavljenja u oblasti II iznosi 0,15 m [12].

Očekivana godišnja šteta. Na osnovu sračunatih prosečnih dubina plavljenja (Slika 15) i funkcija potencijalnih jediničnih šteta (Slika 14) formirane su funkcije očekivane specifične godišnje štete. Na primer, za naseljeno podru-

čje, jedinična šteta za dubinu plavljenja od 0,15 m iznosi 8,838 €/m², a za dubinu od 0,45 m, 25,615 €/m². Odgovarajući dijagrami prikazani su na Slici 16.



(a)



(b)

Slika 16. Jedinične štete za naseljeno područje u zavisnosti od povratnog perioda, odnosno verovatnoće velikih voda: (a) oblast I se plavi 500-god. i 1000-god. velikim vodama, sa štetama $S(Q_{500}, h=0,15)=8,8 \text{ €/m}^2$ i $S(Q_{1000}, h=0,45)=25,6 \text{ €/m}^2$; (b) oblast II se plavi samo 1000-god. velikom vodom, sa štetom $S(Q_{1000}, h=0,15)=8,8 \text{ €/m}^2$ [12].

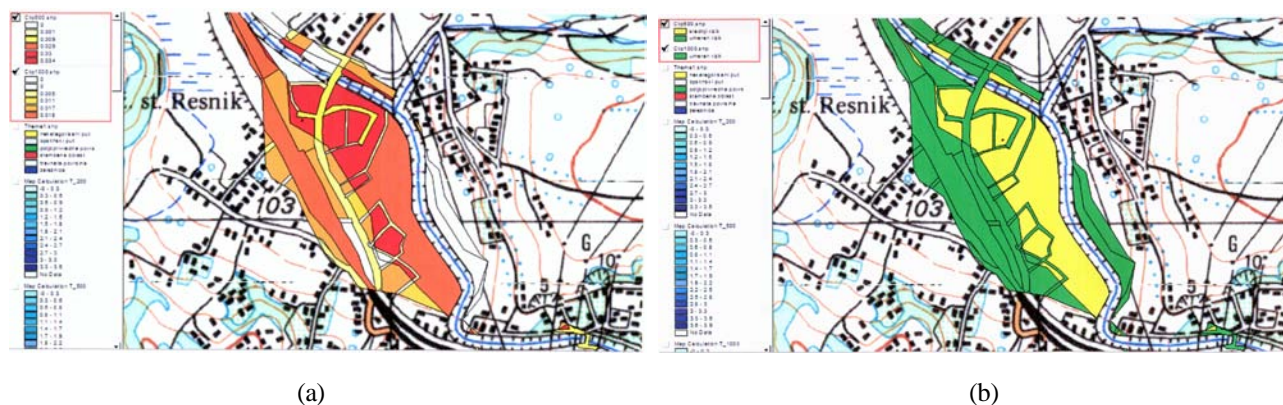
Integracijom (trapeznim pravilom) dobija se očekivana jedinična godišnja šteta za naseljeno područje; u plavnoj oblasti I ona iznosi: $S(P)=0,030 \text{ €/m}^2 \text{ god}$, a u plavnoj oblasti II: $S(P)=0,004 \text{ €/m}^2 \text{ god}$.

Na sličan način se mogu odrediti očekivane godišnje štete i za ostale kategorije namene površina. Grafički prikaz očekivane godišnje štete za razmatrano područje dat je na Slici 17-(a).

Kartiranje rizika. U ovom slučaju granice pojedinih zona rizika definisane su visinom osiguranja za pokrivanje rizika od poplava. Za klasifikaciju rizika u naseljenom području i na površinama koje podpadaju pod saobraćajnu infrastrukturu, usvojena je vrednosti od 0,03 €/m² god) kao prag umerenog rizika, dok je za prag visokog rizika usvojena

vrednost od 1 €/m² god), koja važi u nizu evropskih zemalja [12].

Za poljoprivredno zemljište i travnate površine kao prag umerenog rizika usvojena je vrednost od 0,012 €/m² god), koja se koristi u Nemačkoj. Kartiranje razmatrane oblasti u slivu Topčiderske reke prikazano je na Slici 17-(b).



Slika 17. Kartiranje šteta i rizika od poplava na razmatranom delu sliva Topčiderske reke: (a) očekivana godišnja jedinična šteta; (b) rizik od poplava [12].

4. ZAKLJUČCI

Kartiranje plavnih područja, šteta i rizika od poplava predstavlja jednu od najvažnijih neinvesticionih mera zaštite od poplava. Dva su preduslova za realizaciju ove mere: (a) proračun velikih voda raznih povratnih perioda i definisanje plavnih površina i dubina plavljenja i (b) određivanje potencijalne štete – vrednosti imovine ugrožene poplavama, za površine raznih namena. Utvrđivanje vrednosti imovine je naročito složeno (i skupo) u urbanim uslovima, jer zahteva prikupljanje podataka na terenu. Na osnovu ovih podataka mogu se konstruisati sintetičke funkcije šteta za pojedine namene površina urbanih i ruralnih područja. Nemačke funkcije šteta, prilagođene našim uslovima, čini se daju realne rezultate, ali ipak, mogu biti samo ugled za funkcije koje kod nas tek treba definisati, najpre za priobalja najvećih reka, kao i manjih reka koje karakterišu česte poplave i velike štete. Očekivana godišnja šteta je važan parametar rizika, jer obuhvata poplave različitih povratnih perioda. Zoniranje rizika može se obaviti po kriterijumu povratnih perioda i odgovarajućih šteta, ili alternativno, prema visini osiguranja. U ovom drugom slučaju, kod nas se za sada mogu samo koristiti kriterijumi iz razvijenih evropskih zemalja, ali je izvesno da će ubuduće biti nužno ustanoviti kriterijume koji odgovaraju našim uslovima. Karte rizika od poplava su od velikog javnog značaja, pa je njihova izrada obavezujuća i za našu zemlju. Metodologija prikazana u ovom radu daje korisne

smernice u tom smislu. Prikazani primeri ukazuju na činjenicu da se kartiranje rizika može efikasno obaviti samo primenom savremenih softverskih (GIS) alata.

LITERATURA

- [1] Branislavljević, N., Komatina, D., Jovanović, M., Flood Damage Assessment and Uncertainties in Flood Damage Estimation, Postgraduate Course in Water Resources and Environmental Management – Educate!, 2008.
- [2] Gersonius, B., Flood damage to buildings, INESCO-IHE, Institute for Water Education, Delft, 2006.
- [3] Građevinski fakultet - Beograd, Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Šumarski fakultet – Beograd, Integralno uređenje vodotoka i odbrana od poplava u kontekstu održivog razvoja i zaštite prirodnih bogatstava, projekat NPV-20A, 410020, Nacionalni program uređenja, zaštite i korišćenja voda, Ministarstvo nauke Srbije, 2004-2007.
- [4] Jovanović, M., Flood Risk Mapping, Postgraduate Course in Water Resources and Environmental Management – Educate!, 2008.
- [5] Kron, A., Flood Damage Estimation and Flood Risk Mapping, Chapter 10, Advances in Urban Flood Management, Ashley, R. et al (ed.), Taylor&Francis, London, 2007.

- [6] Kron, W., Flood catastrophes: causes-loses-prevention from an international re-insurer's point of view, Precautionary Flood Protection in Europe - International Workshop, Bonn, 2003.
- [7] Kron, W., Willems, W., Flood Risk Zoning and Loss Accumulation Analysis for Germany, Proc. Int. Conference on Flood Estimation, Berne, Switzerland, 2002.
- [8] Mississippi State University, Introduction to ArcView GIS, www.its.msstate.edu.
- [9] Pasche, E., Krässig, S., Donner, M., Flood Damage Assessment and Risk Mapping, Joint project Technical University Hamburg-Harburg and University of Belgrade, Summer School, Herceg Novi, 2005.
- [10] Rodić, M., Procena rizika od plavljenja doline reke Jadar, diplomski rad, Građevinski fakultet, Beograd, 2005.
- [11] Rosić, N., Jovanović, M., Stohastički pristup u određivanju šteta od poplava, Vodoprivreda, 40(2008), 234-236.
- [12] Todorović, A., Kartiranje rizika od poplava u dolini Topčiderske reke, diplomski rad, Građevinski fakultet, Beograd, 2008.
- [13] US Army Corps of Engineers, HEC-GeoRAS - An extension for support of HEC-RAS using Arc View, User's Manual, Davis, 2002.

FLOOD RISK MAPPING

by

Dr Miodrag JOVANOVIĆ
Andrijana TODOROVIĆ
Marko RODIĆ
Faculty of Civil Engineering, Belgrade

Summary

The paper considers the methodology for the mapping flood zones, flood damages and flood risk. The emphasis is on the development of synthetic flood damage functions, used for the determination of the expected annual damages, as the principal parameters for

quantification of the flood risk. The methodology is illustrated by two practical examples.

Key words: floods, flood damages, flood risk mapping

Redigovano 07.08.2009.