

## PROBLEMI PRI IZRADI KARATA UGROŽENOSTI OD POPLAVA

Miodrag JOVANOVIĆ, Dušan PRODANOVIĆ, Jasna PLAVŠIĆ, Nikola ROSIĆ  
Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet  
Predrag SRNA, Miloš RADOVANOVIĆ  
Ehting d.o.o. Beograd

### REZIME

U ovom radu se razmatra problematika izrade karata ugroženosti od poplava, sa osvrtom na metodološka načela i konkretne probleme primene tih načela u praksi. Kao ilustrativan primer korišćena je izrada karata ugroženosti od poplava na području opštine Čačak. Izneta su iskustva u vezi sa rešavanjem niza problema koji su se javili u toku realizacije ovog projekta.

Ključne reči: poplave, karte ugroženosti od poplava

### 1. UVOD

Problematici zaštite od poplava mnoge zemlje već decenijama poklanjaju veliku pažnju, ali se tek u novije vreme sistematizovana iskustva pretaču u preporuke i definišu metodologije opšteg karaktera [3], [4], [7]. Evropska Direktiva o upravljanju rizikom od poplava Evropskog parlamenta i Saveta (FRMD - Flood Risk Management Directive 2007/60/EC [1]), doneta je sa ciljem da se unapredi zaštita od budućih poplava i definišu mere upravljanja rizikom od poplava. Zakonom o vodama iz 2010. godine [1] definisana je obaveza kartiranja plavnih zona i rizika od poplava u Srbiji i navedene su odgovarajuće nadležnosti. Kako kod nas još uvek nisu uspostavljeni tehnički standardi u ovoj oblasti, studija ugroženosti od poplava na području opštine Čačak [1] je bila pionirski pokušaj da se na konkretnom primeru ispune zahtevi FRMD i Zakona o vodama u pogledu sadržaja, obrade i načina prezentacije karata plavnih područja i rizika od poplava. U nastavku se navode problemi koji su se javili u toku izrade ove studije i opisuje način njihovog rešavanja.

Postupak izrade karata ugroženosti od poplava je veoma zahtevan, jer obuhvata složene hidrološke i hidrauličke proračune i analize, kao i primenu određenih kartografskih pravila. U današnje vreme izrada ovih karata je nezamisliva

bez digitalnih podloga i podrške geografskih informacionih sistema (GIS). Pri tome, ovaj inženjerski zadatak zahteva detaljne ulazne podatke koji nisu uvek na raspolaganju, tako da je metode proračuna nužno prilagoditi raspoloživim podacima.

Prema FRMD [1], pri izradi karata plavljenja potrebno je da se razmotre najmanje tri scenarija.

- 1) Poplave male verovatnoće pojave (ekstremno velike vode, povratnih perioda  $\gg 100$  godina), uključujući poplave usled proloma brana i nasipa, kao i poplave koje su posledica nefunkcionalnosti evakuacionih objekata, usled greške u njihovom dimenzionisanju, ili usled kvara ili oštećenja u toku eksploatacije. Tu spadaju i poplave izazvane zagušenjem mostovskih otvora, propusta i drugih kontrolnih objekata, kao i poplave koje su posledica koincidencije velikih voda na reci i njenim pritokama.
- 2) Poplave srednje verovatnoće pojave (velike vode povratnih perioda oko 100 godina).
- 3) Poplave velike verovatnoće pojave (povratnih perioda 10-50 godina) koje mogu biti od interesa za lokalne zajednice, pa se preporučuje njihovo obuhvatanje kartama plavljenja na isti način kao kada su u pitanju poplave sa malom ili srednjom verovatnoćom pojave.

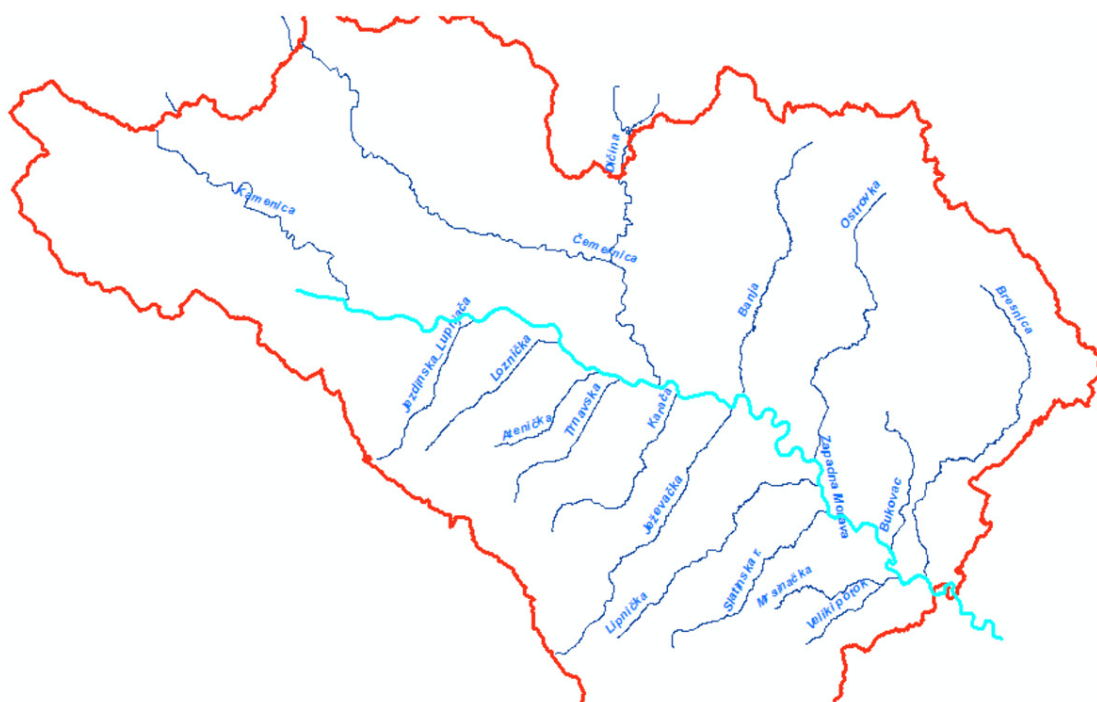
Za svaki od navedenih scenarija, na karti plavljenja treba prikazati [7]: (1) granice plavnog područja, (2) raspored dubina plavljenja (kota nivoa vode) i (3) raspored brzine toka (ukoliko je neophodno).

Karte plavljenja se rade za postojeće uslove, pretpostavljajući da je uticaj klimatskih promena već sadržan u ažuriranim hidrološkim ulaznim podacima.

## 2. PRIMENA GIS ALATA U PRIPREMI TOPOGRAFSKIH PODLOGA

Topografske podloge, koje pokrivaju površinu od oko 630 km<sup>2</sup> sliva Zapadne Morave na teritoriji opštine Čačak (slika 1), sastojale su se od: digitalizovanih i georeferenciranih karata u razmeri 1:25000, digitalnog ortofoto plana u razmeri 1:5000 i digitalnog modela terena iz 2004. godine u UTM34N/ ETRS89 koordinatnom sistemu sa lokalnim ortometrijskim visinama.

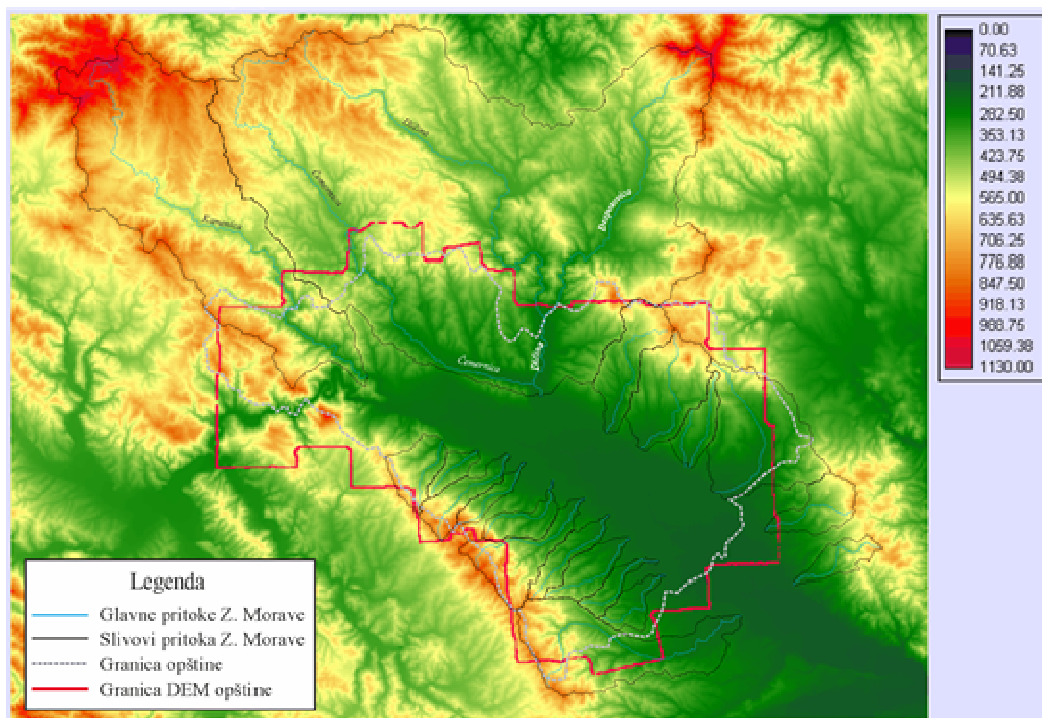
Za efikasan rad sa raznorodnim podlogama, kako po vrsti (analogne papirne karte, vektorske i raster digitalne karte), tako i po rezoluciji i projekciji, neophodno je koristiti GIS (Geografski Informacioni Sistem) programske alate. Na žalost, kao što kod nas nije standardizovan format planske dokumentacije, tako nije standardizovan ni način ni format njene digitalne razmene [1].



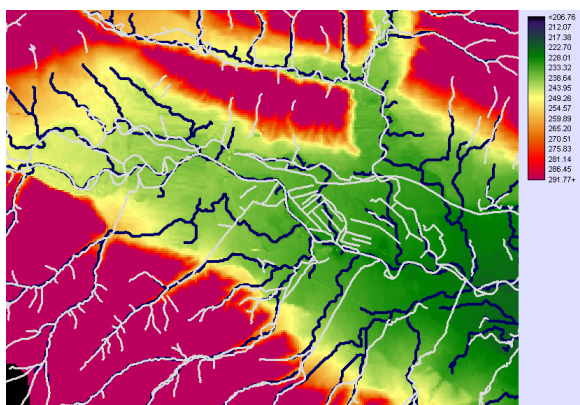
Slika 1. Hidrografska mreža na području opštine Čačak [11]

Digitalni model terena (DMT) koji poseduje grad Čačak imao je nedovoljnu rezoluciju (50×50 m) i nije sadržavao linijske objekte poput nasipa, rečnih korita, puteva i pruga, koji su za kartiranje plavnih zona od suštinskog značaja. Zbog toga je DMT grada kombinovan sa DMT celog sliva (slika 2). Na tako dobijenom DMT su naknadno ugrađene informacije o glavnim nasipima, kanalima kao i rečnim koritima. Takođe su dodate i informacije prikupljene geodetskim snimanjem na terenu. Ovo je iziskivalo veliki dodatni rad da bi se na kraju formirao DTM dovoljno

kvalitetan za kartiranje plavnih područja. Kao provera korigovanog DMT, poslužila je hidrografska mreža dobijena pomoću GIS alata koji automatski analizira tečenje vode po terenu (slika 3). Otklanjanjem grešaka kao što su na primer "prekidi" u linijama vodotoka, formiran je konačni DTM koji verno reprodukuje topografske uslove u prirodi i može da posluži za izradu podloga neophodnih za hidrološke analize -- za automatsko određivanje granica slivnih površina i njihove veličine, prosečnog nagiba sliva, uzdužnog nagiba rečnih korita i dr.

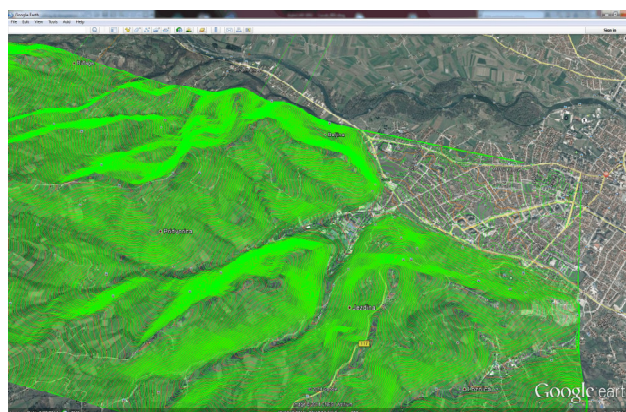


Slika 2. DMT opštine i slivnog područja pritoka reke Zapadne Morave (koja nije prikazana na slici) [11]



Slika 3. Provera DMT automatskim generisanjem hidrografske mreže i njenim poređenjem sa stvarnom mrežom vodotoka [11].

Analizom DMTa, pomoću GIS operacija presecanja terena, mogu se dobiti karakteristični poprečni i uzdužni profili rečnih korita i priobalja, neophodni za hidrauličke proračune. Međutim, to je zahtevalo da tačnost (rezolucija) DMT bude znatno veća od one kod raspoloživog DMT.



Slika 4. Deo DMT izrađenog pomoću alata Google® i AutoCAD®.

Pojavila se dilema da li ulagati veliki dodatni napor na sređivanju postojećeg DMT kako bi on odgovorio potrebama hidrauličkog proračuna, ili da se karakteristični računski profili odrede „ručno“, što je lakši i brži način (opravdan ako se isključivo radi o proračunu linijskih 1D tokova).

U datom slučaju primenjen je ovaj drugi pristup, iako zahteva više napora da se prikažu rezultati proračuna -- granice plavnih zona sa rasporedom dubine plavljenja.

Baveći se problematikom digitalnih topografskih podloga, razmatrane su i druge informatičke mogućnosti. Tako se pokazalo da Internet aplikacija GoogleEarth(PRO)<sup>®</sup> može poslužiti kao interesantan izvor podataka za formiranje DMT. Koristeći alate koji su dostupni u Autodeskovom programskom paketu Civil3D<sup>®</sup>, ili kroz Autodeskov AutoCAD MAP 3D 2014<sup>®</sup> (sa dodatnim modulom PlexEarth<sup>®</sup>), moguće je lako preuzeti tačke sa visinskim kotama terena i formirati DMT (slika 4), ili preuzeti gotove poprečne preseke po zadatoj putanji. Takođe, ovi paketi imaju i mogućnost preuzimanje ortofoto podloga.

Pomenuti informatički alati omogućavaju brzu i relativno jednostavnu pripremu podloga za hidrološke analize širih područja u razmerama 1:25.000 do 1:50.000, sa visinskom tačnošću do jedan metar.

### 3. HIDROLOGIJA VELIKIH VODA

Zadatak hidrološke analize velikih voda je da obezbedi merodavne veličine za projektovanje objekata i sistema zaštite ili ocenu verovatnoće pojave kritičnih događaja. S obzirom da se na ovim rezultatima analize velikih voda zasnivaju mere zaštite od poplava, jasan je interes da analiza velikih voda bude što kvalitetnija.

Način analize i proračuna velikih voda zavisi na prvom mestu od raspoloživih podataka [14]. Na izučenim slivovima (tj. kada se raspolaze osmotrenim podacima o protocima na rečnom profilu od interesa) osnovno sredstvo za analizu velikih voda je njihova statistička analiza. Na neizučenim ili nedovoljno izučenim slivovima je neophodno da se oticaj velikih voda računa na osnovu podataka o padavinama tj. na osnovu računskih kiša.

Statistička analiza velikih voda je alat za povezivanje veličine velikih voda sa verovatnoćom njihove pojave. U praksi se najčešće sprovodi na nizovima maksimalnih godišnjih protoka, mada se smatra da nešto složenija tzv. metoda pikova koja uzima u obzir sve velike vode iznad nekog praga daje pouzdanije procene velikih voda [15], [16]. Takođe se smatra da se pouzdaniji rezultati mogu dobiti regionalnom statističkom analizom jer se na taj način pojedine lokacije ne posmatraju izolovano već u regionalnom kontekstu.

Verovatnoća pojave velikih voda najčešće se izražava kao godišnja verovatnoća prevazilaženja  $p(x)$  tj. verovatnoća da

godišnji maksimum prevaziđe vrednost  $x$ . Povratni period (u godinama)  $T(x)$  je recipročna vrednost ove verovatnoće i predstavlja očekivani broj godina za koji će se protok  $x$  prevazići bar jednom. Rizik prevazilaženja tokom veka objekta  $R(x)$  je verovatnoća da se vrednost  $x$  prevaziđe bar jednom tokom projektnog veka objekta.

Osnovni problem u statističkoj analizi velikih voda su kratki istorijski nizovi i period obrade, od kojih zavise vrednosti merodavnih velikih voda. Drugi značajan problem je neizvesnost u oceni merodavnih velikih voda male verovatnoće pojave pri ekstrapolaciji raspodele velikih voda izvan raspona osmotrenih vrednosti.

Analiza velikih voda na osnovu računskih kiša je standardni postupak na neizučenim slivovima. Osnovna pretpostavka ovog pristupa je da je povratni period velikih voda isti kao povratni period računске kiše. Zbog nelinearne i nejednoznačne veze između padavina i oticaja, uvek postoji sumnja u opravdanost ove pretpostavke. Iskustvo pokazuje da se ova pretpostavka može prihvatiti samo za male povratne periode (npr. do 10 godina) [17].

Računske kiše su hipotetičke kišne epizode koje treba da odražavaju karakteristike realnih kišnih epizoda na datoj lokaciji, uključujući ukupnu visinu kiše, raspored intenziteta kiše u vremenu i prostorni raspored. Ukupna visina kiše zavisi od trajanja kiše i verovatnoće pojave, što se prikazuje zavisnostima visina – trajanje – povratni period kiše (HTP) ili intenzitet – trajanje – povratni period (ITP). Vremenska raspodela kiše je takođe veoma važna jer vremenski neravnomerna kiša uvek daje veći oticaj od ravnomerne, naročito na manjim slivovima. Ako nisu na raspolaganju oblici računskih kiša dobijeni statistički iz podataka osmatranja, preporučuje se primena metode alternativnih blokova kojom se neravnomerna kiša dobija iz krivih HTP i indirektno u sebi sadrži računске visine kiša različitih trajanja.

Jedan od standardnih problema u praksi je taj da su kiše kratkog trajanja (tj. krive HTP i ITP) dostupne na malom broju lokacija pluviografskih stanica. S druge strane, dnevne kiše sa padavinskih stanica su lakše dostupne. Uobičajena je praksa da se krive HTP ili ITP transponuju sa poznatih lokacija na nepoznate u bezdimenzionalnom obliku u odnosu na visinu dnevnih kiša (kada se ponekad nazivaju redukcionim krivama). Računske dnevne kiše zadatih verovatnoća pojave na padavinskim stanicama koriste da bi se došlo do prosečne visine dnevne kiše na slivu iste verovatnoće pojave.

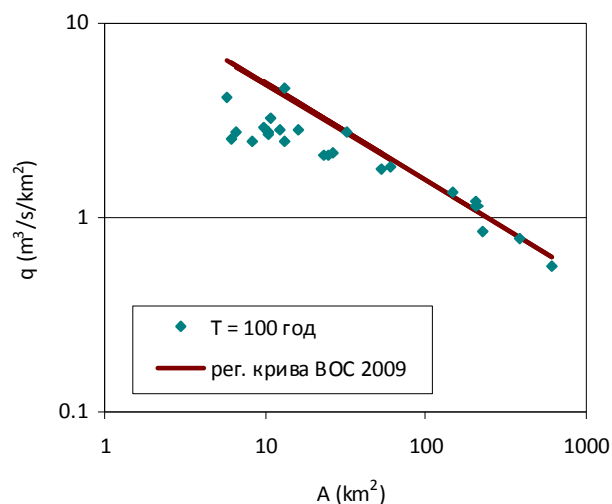
U ovom postupku postoji više problema koji doprinose neizvesnostima u oceni velikih voda: (1) pitanje reprezentativnosti zavisnosti HTP koje se transponuju sa druge lokacije, (2) izjednačavanje dnevnih i 24-časovnih kiša iako po svojoj prirodi 24-časovne kiše moraju biti veće od dnevnih, i (3) osrednjavanje redukcionih krivih (tj. bezdimenzionalne krive kiša kraćeg trajanja u odnosu na računске dnevne kiše) za različite verovatnoće pojave, čime se još više zanemaruje nelinearnost veze padavine-oticaј.

Raspoloživi podaci o padavinama u široj okolini opštine Čačak sastojali su se od nizova godišnjih maksimuma dnevnih kiša na više padavinskih stanica i računskih kiša verovatnoće prevazilaženja 5%, 2% i 1% trajanja 60, 120, 180, 360, 720 i 1440 minuta na glavnoj meteorološkoj stanici Požega. Na raspolaganju su takođe bili karakteristični proticaji velikih voda na Zapadnoj Moravi.

Proračun oticaja velikih voda se obično sprovodi u dva koraka: (1) proračun efektivne kiše i (2) proračun hidrograma direktnog oticaja. Efektivna kiša se najčešće računa metodom SCS uz usvajanje broja krive CN. Ova metoda se obično koristi uz standardnu pretpostavku da početni gubici iznose 20% kapaciteta zemljišta za upijanje, dok se za velike vode kritičnija situacija može očekivati za manje početne gubitke od ovih. Savetuje se oprez pri korišćenju formula za korekciju broja CN za uslove velike prethodne vlažnosti jer mogu dati nerealne vrednosti oticaja. Takođe ne treba zaboraviti da je metoda SCS namenjena radu sa dnevnim kišama, a ne kišama kratkog trajanja. U drugom koraku obično se koriste sintetički jedinični hidrogrami čiji se pojedini parametri određuju iz empirijskih izraza; primenljivost ovih izraza na datu lokaciju uvek treba proveriti.

U slučaju studije za opštinu Čačak, razmatrano je ukupno 24 sliva do izabranih profila za proračun velikih voda, koji su najčešće predstavljali preseke vodotoka sa saobraćajnicama, dok je jedan manji deo izabran u okviru dekompozicije velikih slivova na manje. Svi slivovi su hidrološki neizučeni osim 4 sliva na čijim se izlazima nalaze stanice RHMZ. Ovi izučeni slivovi su poslužili za verifikaciju metodologije proračuna na neizučenim slivovima. U okviru toga se došlo do zaključka da je u primenjenoj SCS metodi za proračun računskih velikih voda potrebno korigovati brojeve krivih CN koji su procenjeni na osnovu namene površina na slivu iz CORINE Land Use podloga za oko 10%, kao i da treba usvojiti manje početne gubitke u proračunu efektivne kiše i to u zavisnosti od povratnog perioda računске kiše.

Rezultate proračuna oticaja velikih voda uvek treba verifikovati u poređenju sa rezultatima regionalnih analiza kao što su regionalne krive specifičnog oticaja u zavisnosti od površine sliva za homogene regione ili anvelope maksimalnih protoka (slika 5).



Slika 5. Stogodišnje velike vode na neizučenim slivovima na teritoriji opštine Čačak u proeđenju sa regionalnom krivom formiranom na osnovu rezultata Vodoprovredne osnove Srbije (VOS) iz 2009. godine [18].

#### 4. HIDRAULIČKI PRORAČUNI

Proračuni plavnih zona standardno se obavljaju pomoću modela linijskog (1D) tečenja. U posebnim slučajevima, kada ne postoji jasno definisan pravac strujanja (tipičan primer je plavljenje ravničarskog područja usled proloma nasipa) ostavlja se mogućnost korišćenja i modela ravanskog (2D) tečenja. Hidraulički proračuni se baziraju na pretpostavkama koje se obrazlažu u nastavku.

(1) Tečenje je linijsko i ustaljeno, sa protocima koji odgovaraju vrhovima sintetičkih talasa dobijenim hidrološkom analizom. To znači da sračunato plavno područje nije zasnovano na dinamici poplavnih talasa, već odgovara nekom hipotetičkom stanju jednovremene pojave izabranog protoka u svim računskim profilima datog vodotoka. Ova pretpostavka nije fizički realna jer se zanemaruje vremenski faktor, ali olakšava proračun i obezbeđuje da sračunato plavno područje bude na strani sigurnosti.

(2) Presudan uticaj na veličinu sračunatog plavnog područja imaju granični uslovi. Smatra se da najnepovoljniji scenario za kartiranje plavnih zona podrazumeva istovremenu pojavu velikih voda iste verovatnoće pojave na svim pritokama matične reke i na njoj samoj. Na primer, u konkretnom slučaju je razmatran scenario istovremene pojave 100-godišnje velike vode na svim bujičnim pritokama Zapadne Morave, u kombinaciji sa kotom nivoa 100-godišnje velike vode Morave na ušćima ovih pritoka. Iako se koincidencija velikih voda na pritokama može opravdati relativno malim slivnim područjem, ovako drastično nepovoljan scenario je samo hipotetički slučaj koji garantuje da će rezultati hidrauličke analize biti daleko na strani sigurnosti.

(3) Potencijalno plavno područje zavisi i od sigurnosti postojećih nasipa. Ako su nasipi dimenzionisani na 100-godišnju veliku vodu (što je kod nas najčešći slučaj), može se pretpostaviti da su oni u punoj funkciji i da sprečavaju izlivanje svih velikih voda povratnih perioda do 100 godina<sup>1</sup>. Problem „zaostalog rizika“ koji se odnosi na mogućnost proloma nasipa se može zasebno razmatrati, hidrauličkim proračunom neustaljenog 1D ili 2D tečenja (u zavisnosti od konkretnih uslova), pri čemu se mesto potencijalnog proboja nasipa utvrđuje obilaskom terena, ili se usvaja po kriterijumu najnepovoljnijih posledica po branjeno područje.

Hidraulički proračuni u okviru studije plavnog područja opštine Čačak [11] obavljani su pomoću softverskog paketa HEC-RAS [10] koji se standardno koristi u našoj praksi. U proračunu je pretpostavljeno linijsko, ustaljeno, nejednoliko tečenje. Od ukupno 32 pritoke Zapadne Morave, obuhvaćeno je 14 pritoka, izabranih po kriterijumu obima dosadašnjih izlivanja i veličine šteta. Proračunima, kojima su obuhvaćene velike vode povratnih perioda 20, 50 i 100 godina, prethodila su geodetska snimanja glavnih (minor) korita razmatranih vodotoka, dok su podaci vezani za geometriju inundacija dobijeni korišćenjem skeniranih i digitalizovanih karata u razmeri 1:25000. Treba napomenuti da je povezivanje programa HEC-RAS sa GIS okruženjem omogućeno kroz aplikaciju HEC-GeoRAS, koja obezbeđuje efikasnu razmenu ulaznih podataka i rezultata (plavnih zona) sa softverskim paketom ArcGIS.

Hidraulički proračuni koji se obavljaju za potrebe izrade karata plavnih područja suočeni su sa brojnim teškoćama - bar kada su u pitanju bujični vodotoci. Jedan od osnovnih

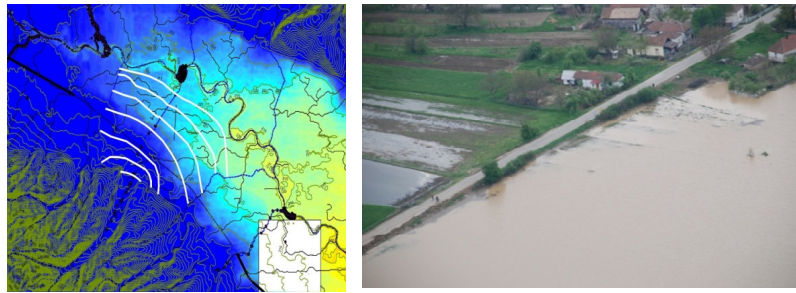
problema je nemogućnost pouzdane kalibracije računskog modela. Na „neizučeni slivovima“ po pravilu ne postoje snimljene linije nivoa, a retko se mogu naći i tragovi velikih voda iz prošlosti, koji bi poslužili za bilo kakvu proveru proračuna. Zato su vrednosti parametara modela – u slučaju linijskog modela reč je o Manningovom koeficijentu otpora – usvajane na osnovu iskustva, obilaska terena i preporuka iz literature [6]. (U ovakvim slučajevima se preporučuje analiza osetljivosti rezultata na vrednosti ulaznih parametara, da bi se procenila veličina moguće greške u sračunatim dubinama i brzinama.)

Drugi značajan problem je vezan za ograničenje linijskog računskog modela da reprodukuje strujnu sliku u izrazito ravničarskim predelima. U konkretnom slučaju, gornji tok bujičnih pritoka Zapadne Morave karakteriše uska dolina sa dominantnim pravcem strujanja, dok je donji tok u unudacijama Morave, gde strujanje izlivenih voda ima prostoran ili ravanski karakter. Za modeliranje tečenja u gornjem toku prikladan je linijski (1D) model, a u donjem toku, ravanski (2D) model. Ako se vodotok u celini modelira kao linijski tok, postavlja se pitanje kako odrediti granice poprečnih profila u ravnici (slika 6), odnosno kako na tom području razdvojiti računске domene blisko lociranih vodotoka. Ovaj problem je rešen tako što su na osnovu ortofoto dokumentacije i satelitskih snimaka (Google Earth<sup>®</sup>), kao i obilaskom terena, utvrđene trase lokalnih puteva sa dovoljno visokom niveletom da se mogu smatrati granicama plavnih kaseti (slika 6). Na taj način su poprečni profili linijskog modela ograničeni položajem i nadvišenjem lokalnih puteva u odnosu na okolni teren. (U uslovima kada je priobalju Zapadne Morave evidentno ravansko tečenje, ovo je bilo iznuđeno i jedino moguće rešenje imajući u vidu raspoloživo vreme i finansijska sredstva predviđena za realizaciju ovog projekta.)

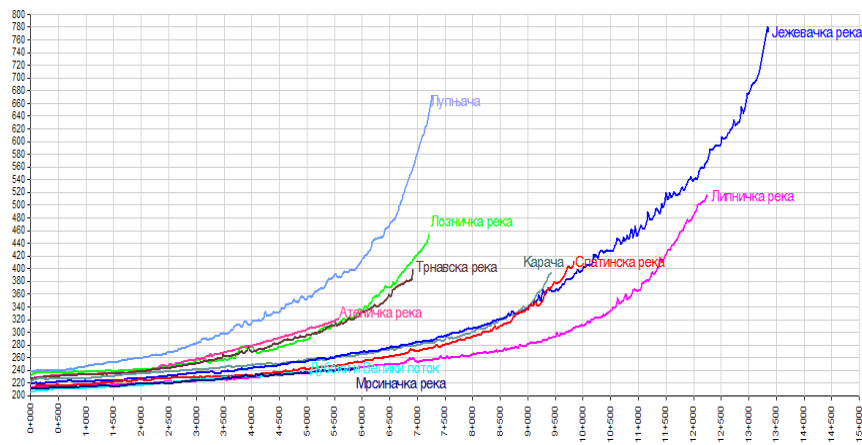
Sledeći problem je povezan sa prethodnim, a odnosi se na izraženu neravnomernost uzdužnog nagiba rečnih korita (slika 7). U hidrauličkom smislu, taj problem se manifestuje u vidu mešovitog (burnog i mirnog) režima tečenja, sa čestom pojavom hidrauličkog skoka. Iako softverski paket HEC-RAS ima mogućnost automatskog obuhvatanja oba režima tečenja, kvalitet rezultata u znatnoj meri zavisi od znanja i iskustva korisnika. U datom slučaju se pokazalo da je za procenu realnosti dobijenih rezultata bila neophodna ne samo pažljiva analiza sračunatih linija nivoa, već i njihova provera na terenu.

<sup>1</sup> Pitanje je kako u hidrauličkom proračunu tretirati ekstremno retke velike vode (na primer 1000-godišnju veliku vodu), kada nivo prevazilazi kote krune nasipa. Jedna od mogućnosti je da se u tom slučaju nasipi u potpunosti izostave, smatrajući da su na velikoj dužini uništeni prelivanjem.

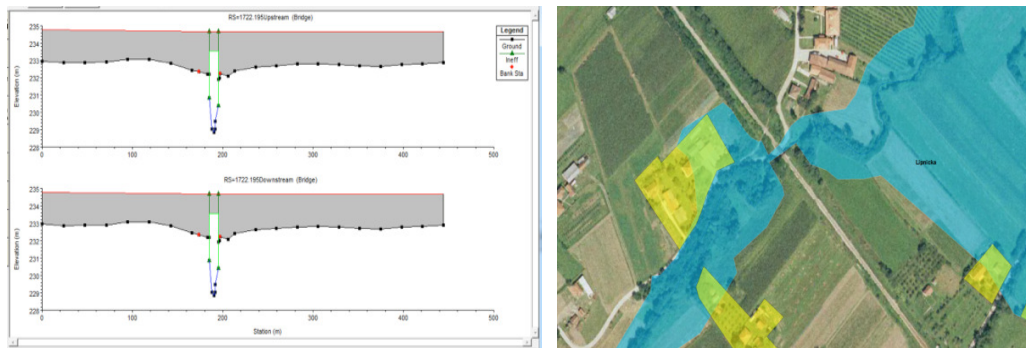




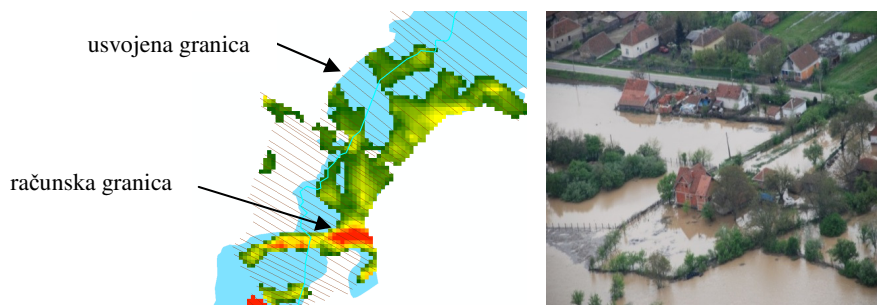
Slika 6. Određivanje granica poprečnih profila u proračunu linijskog (1D) tečenja [11].



Slika 7. Uzdužni profili pritoka Zapadne Morave na području opštine Čačak [11].



Slika 8. Modeliranje mostovskih suženja kao kontrolnih preseka za evakuaciju velikih voda [11].



Slika 9. Računska i usvojena granica plavnog područja [11].

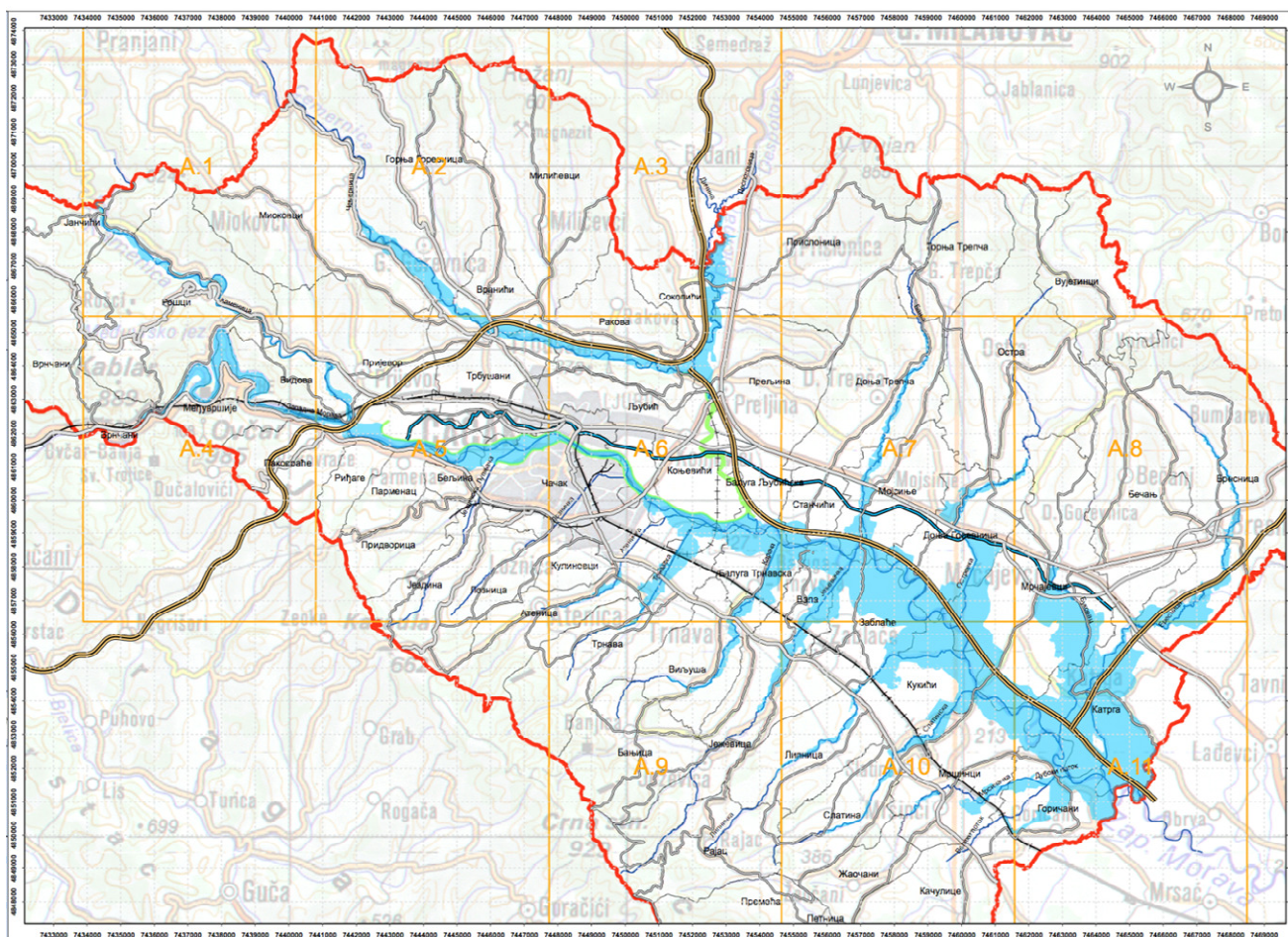
Sledeći problem hidrauličkog modeliranja je obuhvatanje lokalnih kontrolnih preseka, kao što su mostovska suženja, propusti i druge prepreke za nesmentanu evakuaciju velikih voda (slika 8). Ovi lokaliteti se mogu efikasno modelirati pomoću programa HEC-RAS pod uslovom da su poznate geometrijske karakteristike objekata i dobro određene vrednosti koeficijenta lokalnih gubitaka. U praksi se mora računati s tim da ovi podaci nedostaju i da je potrebno uložiti vreme i novac da se objekti snime na terenu i u model unesu verodostojni ulazni podaci, od čega bitno zavisi kvalitet rezultata proračuna.

I na kraju, treba razmotriti i kako će se konačno usvojiti granice plavne oblasti. Naime, iskustvo pokazuje da se

unutar sračunate plavne zone obično pojavi više „ostrva“ – delova terena (često sa stambenim i drugim objektima) okruženi izlivenom vodom (slika 9). U konkretnom slučaju ovi delovi su uključeni u plavno područje i prikazani na odgovarajućim kartama ugroženosti.

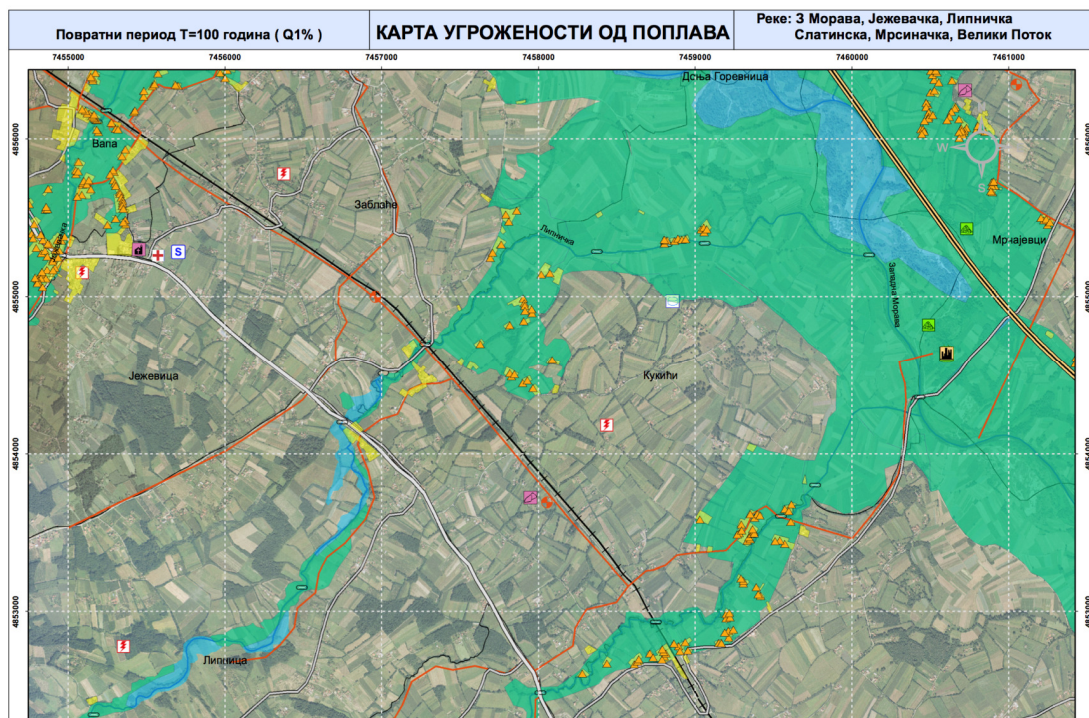
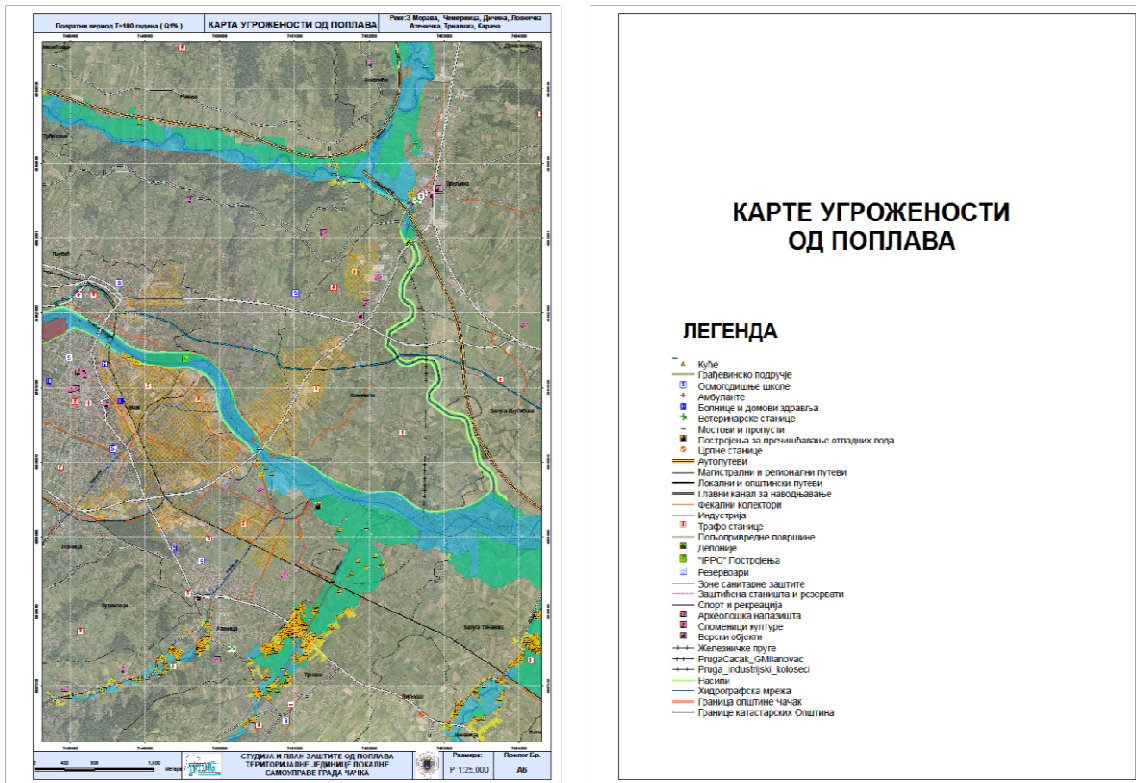
### 5. KARTE UGROŽENOSTI OD POPLAVA

Ove karte prikazuju stanje poplavljenosti po katastarskim opštinama da bi ih koristio što veći krug korisnika. Na kartama su prikazane plavne površine za sva tri razmatrana povratna perioda, pri čemu su kao podloga korišćene skenirane karte u razmeri 1:25000 i ortofoto plan (slike 10 i 11).



Slika 10. Atlas ugroženosti od 100-godišnje velike vode na području opštine Čačak [11].





Slika 11. List iz atlasa ugroženosti opštine Čačak od poplava povratnog perioda 100 godina (gore) i uvećani detalj jedne karte ugroženosti sa istog područja (dole) [11].

Pri izradi ovih karti usvojena su određena kartografska pravila shodno evropskim preporukama [1], [7], kao i odredbama Zakona o vodama [2]. Plavne zone su prikane u nijansama plave boje koje odražavaju raspored sračunatih dubina plavljenja, a providnost plavne zone je podešena tako da se unutar nje lako mogu identifikovati ugroženi objekti („receptori rizika“). Treba napomenuti i to da rad u GIS okruženju omogućava i izradu različitih karata ugroženosti, čiji se sadržaj i nivo detaljnosti mogu prilagoditi neposrednim korisnicima (opštinske službe, urbanistički zavodi, sektor za vanredne situacije, osiguravajuća društva i dr.).

## 6. ZAKLJUČCI

1. Kartiranje plavnih zona i rizika od poplava je zakonska obaveza, usklađena sa Evropskom direktivom o poplavama. Kao jedna od „neinvesticionih mera“ zaštite od poplava, predstavlja osnovu za efikasno i održivo upravljanje poplavama, u duhu načela „živeti sa poplavama“. Međutim, u ovom trenutku kod nas ne postoje tehnički standardi za izradu karata ugroženosti od poplava.
2. Pomoću GIS alata je moguće popraviti postojeće digitalne podloge, ili digitalizovati postojeće karte, ili uklopiti dodatno snimljene delove terena u DMT, ali je potreban veliki dodatni rad. Za izradu karata plavljenja u većini slučajeva neophodna je veritkalna tačnost DMT od oko 10 cm.
3. Merodavne velike vode se menjaju kroz vreme jer zavise od perioda obrade, pa je neophodno ažuriranje hidroloških analiza sa što dužim nizovima osmotrenih protoka i kiša.
4. Proračun merodavnih velikih voda na neizučnim slivovima zavisi od velikog broja usvojenih faktora. Izdavanje preporuka i standarda za proračun bi pomoglo projektantima, investitorima i nadležnim državnim institucijama da se smanji faktor subjektivnosti i proizvoljnosti u ovim analizama.
5. Izrada karata ugroženosti od poplava je zahtevan poduhvat, suočen sa brojnim teškoćama. U hidrauličkom proračunu prisutne su brojne neizvesnosti (topografija rečnog korita, rapavost, granični uslovi, lokalni gubici i dr). Klasična kalibracija računskog modela u velikom broju slučajeva nije moguća.
6. Hidraulički proračuni imaju svoja ograničenja koja utiču na pouzdanost rezultata: neadekvatnost modela (1D ili 2D), ne/ustaljen i mešoviti režim tečenja, objekti (mostovi, propusti i dr.), prolom nasipa („zaostali rizik“).
7. Za sada kod nas ne postoji opšte prihvaćena metodologija za izradu karata ugroženosti od poplava. Ako se zasnivaju na proračunu linijskog ustaljenog tečenja, ove karte prikazuju hipotetičko stanje poplavljenosti pri istovremenoj pojavi maksimalnog protoka u svim računskim profilima.
8. Računski određene plavne zone neophodno je proveriti na terenu i po potrebi, korigovati tako da budu na strani sigurnosti.
9. Kartiranje ugroženosti usled potencijalnog proloma nasipa podrazumeva određivanje mesta proloma, prikupljanje i obradu većeg fonda ulaznih podataka i složenije proračune (2D model, ili kombinacija 1D/2D modela).
10. Neopodno je u što kraćem roku formulisati tipski projektni zadatak za izradu karata ugroženosti od poplava, kao i doneti odgovarajuća tehnička uputstva za inženjere koji ove projektne zadatke treba da realizuju u praksi.

## LITERATURA

- [1] Direktiva 2007/60/EC Evropskog parlamenta i Saveta o proceni i upravljanju rizikom od poplava (Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks, ([http://ec.europa.eu/environment/njater/flood\\_risk/](http://ec.europa.eu/environment/njater/flood_risk/)))
- [2] Zakon o vodama, Službeni glasnik Republike Srbije, br. 30/10 od 7.5.2010.
- [3] Jovanović, M., „Integrated Flood Management“, predavanja na međunarodnom posle-diplomskom kursu učenja na daljinu „Educate!“, 2008-2012.
- [4] Jovanović, M., Todorović, A., Rodić, M., Kartiranje rizika od poplava, Vodoprivreda, Vol. 41, br. 1-3, 2009.
- [5] Jovanović, M., „Odbrana od poplava“, predavanja u elektronskom obliku, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Beograd, 2010.

- [6] Jovanović, M. „Regulacija reka - rečna hidraulika i morfologija“, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Beograd, 2008.
- [7] LAWA, German Working Group on Water Issues of the Federal States and the Federal Government, „Recommendations for the Establishment of Flood Hazard and Flood Risk Maps“, Dresden, 2010.
- [8] Rosić, N., Jovanović, M., Stohastički pristup u određivanju šteta od poplava, *Vodoprivreda*, Vol. 40, br. 4-6, 2008.
- [9] Studija mapiranja plavnih zona u Srbiji, SoFPAS, Prva faza, EPTISA, jun 2012.
- [10] US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, V. 4.1.0, 2010.
- [11] Studija i Plan zaštite od poplava teritorije lokalne samouprave grada Čačka, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet i EHTING, 2012.
- [12] Burrough, P. A i McDonel, R. A., Principi geografskih informacionih sistema (prevod sa engleskog B. Bajat i D. Blagojević), Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, ISBN 86-7518-070-5, 2006.
- [13] Wilson, J. P. i Gallant, J. C., *Terrain Analysis, Principles and Applications*. John Wiley & Sons, ISBN 0-471-32188-5, 2000.
- [14] Jovanović, S., Hidrologija, poglavlje 2, Tehničar 6, Građevinska knjiga, 1990.
- [15] Plavšić, J., Neizvesnosti u analizi velikih voda metodom parcijalnih serija, *Vodoprivreda*, 38 (1-3), str. 41-50, 2006.
- [16] Plavšić, J. i Milutinović, R., O računskim nivoima vode za zaštitu od poplava na Dunavu kod Novog Sada, *Vodoprivreda*, 42(1-3), str. 69-78, 2010.
- [17] Petrović, J., Analiza pouzdanosti procene velikih voda na malim slivovima, *Vodoprivreda*, 29(1-2), str. 97-103, 1997.
- [18] Vodoprivredna osnova Republike Srbije, Ministarstvo za poljoprivredu, šumarstvo i vodoprivredu, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, 1996.

## PROBLEMS IN CREATING FLOOD HAZARD MAPS

by

Miodrag JOVANOVIĆ, Dušan PRODANOVIĆ, Jasna PLAVŠIĆ, Nikola ROSIĆ  
 University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering, Serbia  
 Predrag SRNA, Miloš RADOVANOVIĆ  
 Ehting d.o.o., Belgrade, Serbia

### Summary

This paper deals with problems of creating flood hazard maps, considering methodology and problems of its implementation in practice.

A case study, pertaining to production of flood hazard maps for municipality Čačak in Serbia is used as an illustrative example of how to solve various problems facing such projects.

Key words: floods, flood hazard maps

Redigovano 17.11.2014.