

MAPE OPASNOSTI I MAPE RIZIKA OD POPLAVA NA SLIVU RIJEKE VRBAS U BiH KAO PODLOGA ZA IZRADU PLANOVA UPRAVLJANJA POPLAVNIM RIZIKOM

Vujadin BLAGOJEVIĆ, Nedeljko SUDAR¹⁾, Žana TOPALOVIĆ²⁾, Alma BIBOVIĆ³⁾, Branislav Đorđević

¹⁾ Zavod za vodoprivredu, Bijeljina

²⁾ Univerzitet u Banja Luci - Arhitektonsko-Građevinski fakultet ³⁾ Zavod za vodoprivredu, Sarajvo

Priroda nas nikad ne vara, mi smo ti koji sebe zavaravamo.

(Jean - Jacques Rousseau)

REZIME

Realizovane Mape opasnosti i rizika od poplava na slivu rijeke Vrbas predstavljaju pilot projekat sagledavanja opasnosti i rizika od plavljenja na nivou kompletnog sliva rijeke Vrbas u BiH. Izradom mapa stvoreni su preduslovi za izradu Planova upravljanja poplavnim rizikom na slivu rijeke Vrbas u Republici Srpskoj i Federaciji BiH. Kartiranje poplavnih područja, opasnosti i rizika od poplava predstavlja najbitniju nestrukturiranu mjeru zaštite od poplava. Međutim, da bi jedna ovakva sveobuhvatna mjera bila realizovana, potrebno je detaljno sagledati sve morfološke, hidrološke, hidrauličke i socio-ekonomske prilike na terenu - potencijalnom poplavnom području. Kontinualni i sa glavnim pritokama uvezan hidraulički model rijeke Vrbas u kombinaciji sa rezultatima hidrološkog modeliranja i hidrološke statističke analize sliva, koristio je neustaljeno tečenje kao ulazne granične uslove. Ovakav pristup je omogućilo praćenje propagacije poplavnog vala i odgovarajući prikaz reakcije pojedinih dijelova sliva na ekstremne padavine ranga pojave 1/20, 1/100 i 1/500 godina.

Pored osnovnog cilja - dobijanja mjerodavnih hidrauličkih parametara za izradu mapa opasnosti, hidraulički model je poslužio i za provjeru postojećih krivih proticaja na vodomjernim stanicama na rijeci Vrbas. To je ukazalo na neophodnost mjerenja vodostaja i proticaja, naročito u periodima velikih voda kako bi novoodređene Q-h krive u narednom periodu dobile svoju verifikaciju.

Mape opasnosti od poplava prikazane su u skladu sa usvojenom Metodologijom u zavisnosti od ranga pojave poplave, opsega plavljenja, dubine i brzine poplavnog vala. Jedna od ključnih prednosti sagledavanja poplavnog rizika u sklopu mapiranja na slivu rijeke

Vrbas, jeste uzimanje vektorske vrednosti brzine poplavnog vala u svakoj tački poplavnog poligona primjenom 2D hidrauličkog modeliranja. To za posledicu ima vjerodostojniji prikaz vrijednosti faktora opasnosti u svakoj tački poplavnog poligona, nego što bi bio slučaj korišćenja srednje profilske brzine ili korišćenjem samo dubine poplave pri iskazivanju opasnosti od poplava (što je slučaj u preko 50% zemalja članica EU). Razvojem jedinstvenog, kontinualnog, neustaljenog hidrauličkog modela tečenja rijeke Vrbas od izvorišne zone do ušća u rijeku Savu, uvezanim sa najznačajnijim pritokama, postignuto je da se propagacije velikih voda određenog ranga pojave sagledaju sa aspekta realnog „slaganja“ hidrograma tj. da se formira tzv. prognozni model računskog povratnog perioda, te da se analizira i tumači mogući poplavni scenario s obzirom na „reakciju“ sliva pri maksimalnim računskim kišama. Ovakav pristup pokazao se kao neophodan imajući u vidu veličinu sliva, na kome se sagledavaju ekstremne hidrološko-hidrauličke prilike (preko 6.500 km²). Naime, sagledavanje reakcije kompletnog sliva u istom vremenskom trenutku na velike računске kiše istog povratnog perioda, na gornjem, srednjem i donjem dijelu sliva imao bi za posledicu propagaciju vodnih talasa daleko ređe verovatnoće u srednjem, a naročito u donjem dijelu sliva rijeke Vrbas, što u konačnom rezultatu bi se odrazilo na podcenjen poplavni rizik - gornji sliv i precenjenu opasnost i rizik od poplava za srednji i donji dio sliv rijeke Vrbas.

Mape opasnosti od poplava, u kombinaciji sa socio-ekonomskim prilikama na slivu rijeke Vrbas, predstavljaju dve osnovne komponente izrađenih mapa rizika od poplava. Preko 40.000 atributnih podataka (socio-ekonomskih) omogućilo je da se izvrši kvalitetna prospekcija svih društvenih i ekonomskih prilika na

slivu. Imajući u vidu da se mape rizika (opasnosti) noveliraju u prosjeku na svakih šest godina (najviše iz razloga društvenih aktivnosti u potencijalnom poplavnom području, ali i zbog promjena u hidrološkim i hidrauličkim režimima) ovaj projekat nudi solidnu osnovu, koju svakako treba nastaviti nadograđivati i dopunjavati ulaznim parametrima rizika.

Ključne reči: Hidrološki model, sliva rijeke Vrbas, računске velike vode, mape opasnosti i mape rizika od poplava.

UVOD

Rijeka Vrbas u poslednjoj deceniji, a i u periodu ranije, uzrokovala je značajna plavljenja u BiH. Proces plavljenja sa svim svojim karakteristikama (opseg, dubina i brzina plavljenja) dosta se razlikuju s obzirom na dio sliva na kojem su se dešavale (gornji, srednji i donji tok rijeke Vrbas).

Sve poplave koje su se desile u prošlosti na slivu rijeke Vrbas dokumentovane su u strateškim dokumentima Republike Srpske i Federacije BiH (Preliminarna procjena rizika od poplava na području Republike Srpske - sliv rijeke Vrbas, 2012. i 2014. godina, i Preliminarna procjena poplavnog rizika na vodotocima I kategorije u FBiH, 2013. godina).

Preliminarne procjene rizika od poplava urađene su na bazi raspoloživih podataka i informacija o istorijskim zabilježenim poplavama na osnovu kojih je definisano područje projektnih aktivnosti izrade Mapa opasnosti i rizika od poplava na slivu rijeke Vrbas.

Ključni segment za izradu mapa opasnosti od poplava, a kasnije i mapa rizika od poplava jeste kvalitetan i vjerodostojan hidraulički model tečenja rijeke Vrbas sa pritokama. Uvažavajući rezultate hidrološke analize i hidrološkog modeliranja cjelovitog sliva rijeke Vrbas, izvršen je izbor reprezentativnih lokaliteta na kojima hidrološki model treba da pruži granične uslove hidrauličkog modela tj. njihove ulazne parametre.

METODOLOGIJA ZA IZRADU MAPA OPASNOSTI I MAPA RIZIKA OD POPLAVA

Metodologija izrade mapa usaglašena je i podržana od strane institucija sektora Voda u Republici Srpskoj i Federaciji BiH.

Mape opasnosti predstavljaju grafički i numerički prikaz poplavnog područja određene vjerovatnoće pojave, gdje postoji realna opasnost po stanovništvo, njihova

materijalnih dobara i životnu sredinu. Zasnivaju na provedenim hidrološkim i hidro-dinamičkim proračunima, te dobijenim rezultatima hidrološko-hidrauličkih modeliranja, koji definišu osnovne pokazatelje (opseg, dubinu, brzinu) plavljenja, koje u kombinaciji sa sliva, elementi koji opisuju poplavni događaj treba da budu bazirani na brzini i dubini poplavnog socio-ekonomskim pokazateljima određuju stepen rizika od poplava na slivu.

Imajući u vidu prirodu i različitosti poplavnih događaja u različitim dijelovima vala.

Prethodni stav je iskazan kroz formulu za proračunavanje vrijednosti opasnosti 'O':

$$O = h \times (v+0,5)$$

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

Opasnost od plavljenja podeljena je na četiri klase:

1. Niska ugroženost - zanemarljiva ugroženost (vrijednost ugroženosti do 0,75).
2. Umjerena ugroženost - ugrožene su pojedine kategorije (djeca, starci, bolesni, neplivači) - vrijednost ugroženosti od 0,75 do 1,5.
3. Visoka ugroženost - ugrožena je većina stanovništva (vrijednost ugroženosti od 1,5 do 2,5).
4. Ekstremna ugroženost - ugroženost po sve u poplavnom području (vrijednost ugroženosti preko 2,5).

U Metodologiji je definisana, a kroz projekat i sprovedena horizontalna rezolucija mapa opasnosti (a samim tim i mapa rizika) od 10×10 m, sa vertikalnom tačnošću do 10 cm. Kroz razradu mapa potvrđena je ispravnost ovakve odluke, jer sitnija rezolucija ne bi dovela do povećanja tačnosti finalnog rezultata, a zasigurno bi otežala primjenjivost i operativnost pri radu.

Mape rizika od plavljenja po kategorijama, koje su unaprijed određene (stanovništvo, ekonomija/privreda, zaštićena područja, kulturno historijsko naslijeđe i IPPC), dobijaju se množenjem broja tačaka, dužinom linija ili površinom poligona sa definisanim težinskim faktorom (TF) i koeficijentom opasnosti (O): $FR = \sum n \times TF \times O$

gdje su: FR - faktor rizika, n - broj tačaka, dužina linije (km) ili površina poligona (km² ili ha), TF - težinski faktor i O - koeficijent opasnosti

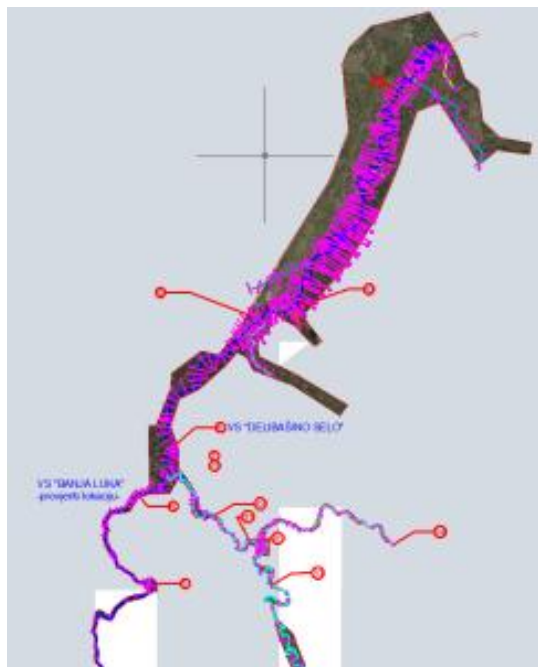
Za neko poplavno područje na bazi četiri naprijed određene Kategorije ugroženosti, usvojene su granične vrijednosti 'pragova' poplavnog rizika u zavisnosti od brojčane vrijednosti FR, preko koje se može smatrati da je rizik 100%. Vrijednosti FR su svedene u Klasu poplavnog rizika u dijapazonu od 0 do 1.

Brzina (m/s)	Dubina (m)									
	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5
0	0.13	0.25	0.38	0.50	0.63	0.75	0.88	1.00	1.13	1.25
0.25	0.19	0.38	0.56	0.75	0.94	1.13	1.31	1.50	1.69	1.88
0.5	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50
0.75	0.31	0.63	0.94	1.25	1.56	1.88	2.19	2.50	2.81	3.13
1	0.38	0.75	1.13	1.50	1.88	2.25	2.63	3.00	3.38	3.75
1.25	0.44	0.88	1.31	1.75	2.19	2.63	3.06	3.50	3.94	4.38
1.5	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
1.75	0.56	1.13	1.69	2.25	2.81	3.38	3.94	4.50	5.06	5.63
2	0.63	1.25	1.88	2.50	3.13	3.75	4.38	5.00	5.63	6.25
2.25	0.69	1.38	2.06	2.75	3.44	4.13	4.81	5.50	6.19	6.88
2.5	0.75	1.50	2.25	3.00	3.75	4.50	5.25	6.00	6.75	7.50
2.75	0.81	1.63	2.44	3.25	4.06	4.88	5.69	6.50	7.31	8.13
3	0.88	1.75	2.63	3.50	4.38	5.25	6.13	7.00	7.88	8.75
3.25	0.94	1.88	2.81	3.75	4.69	5.63	6.56	7.50	8.44	9.38
3.5	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
3.75	1.06	2.13	3.19	4.25	5.31	6.38	7.44	8.50	9.56	10.63
4	1.13	2.25	3.38	4.50	5.63	6.75	7.88	9.00	10.13	11.25
4.25	1.19	2.38	3.56	4.75	5.94	7.13	8.31	9.50	10.69	11.88
4.5	1.25	2.50	3.75	5.00	6.25	7.50	8.75	10.00	11.25	12.50
4.75	1.31	2.63	3.94	5.25	6.56	7.88	9.19	10.50	11.81	13.13
5	1.38	2.75	4.13	5.50	6.88	8.25	9.63	11.00	12.38	13.75

Slika 1. Prikaz vrijednosti opasnosti kao funkcija dubine i brzine vode

RAZVOJ HIDRULIČKOG MODELA TEČENJA

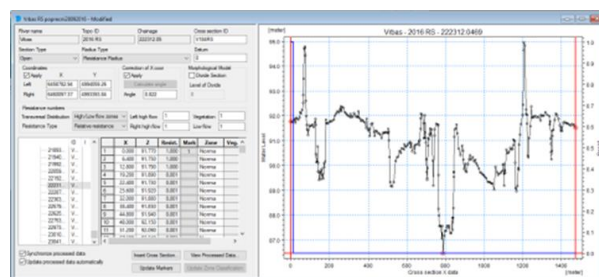
Geodetska snimanja obuhvatila su inundaciju (LIDAR tehnologija) na površini od 330 km² dolinskih priobalnih terena i geodetsko snimanje osnovnih korita (klasičnim metodama u obimu od: 559 širokih poprečnih profila, 146 objekata mostova, dvije brane-pregradna profila). Na osnovu ovih podataka formiran je kontinualni geometrijski prikaz vodnog toka rijeke Vrbas sa trinaest najznačajnijih pritoka, na kome su matematičkim modeliranjem simuliraju istorijske poplave, ali i buduće poplave određenog ranga pojave.



Slika 2. Prostorni raspored snimanja poprečnih profila u donjem i srednjem dijelu sliva rijeke Vrbas

Profili snimani u osnovnom koritu prošireni su LIDAR geodetskim snimkom u dovoljnoj širini, tako da je obuhvaćeno osnovno korito i inundacioni pojas do visoke obale ili do udaljenosti zaobalja koje u prošlosti nije bilo pogođeno poplavama iz pravca Vrbasa i njenih pritoka.

LIDAR snimkom obuhvaćeni su svi lokaliteti rukavaca, starača, ada, sprudišta, deponija materijala i objekata u inundacionoj zoni koji su od izuzetnog značaja za formiranje nivoa velikih voda u osnovnom koritu. Kvalitet i gustina snimanja omogućila je da se proticajni profili predstavljaju vjerodostojno u odnosu na stanje na terenu.



Slika 3. Formirani široki poprečni profil (osnovno korito - klasično snimanje, inundacija - LIDAR)

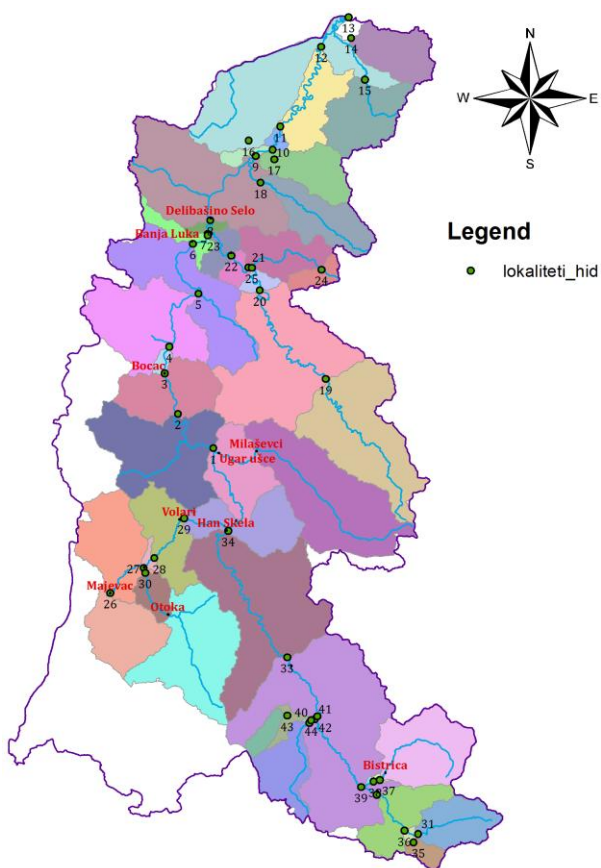
Pri samom definisanju lokaliteta snimanja poprečnih profila vodilo se računa da se obezbjedi okomitost tečenja matice velike vode na snimljeni profil. Tamo gdje to prilike na terenu nisu dozvoljavale, u Cross – Sections dokumentu izvršena je korekcija ugla otklona. Na taj način zadržala se vjerodostojnost proticajnog profila u osnovnom koritu i inundaciji.

Određivanje graničnih uslova tečenja. Granični uslovi tečenja, tj. odgovarajući hidrografi na početku svake od grana i doprinosi hidrograma duž vodotoka određeni su na osnovu statističkih analiza i hidrološkog modela. Prije izrade hidroloških statističkih analiza sliva i hidrološkog modeliranja određeno je ukupno 45 lokaliteta, na kojima će se u hidrauličkom modelu zadati granični uslovi (hidrogrami). Lokaliteti potrebnih hidrograma određeni su na bazi pozitivne hidrauličke prakse, na osnovu bitnosti dobijanja relevantnog ulaznog hidrograma na dionicama vodotokova u čijem prijoblju su definisana AFAs područja i na lokacijama vodomjernih stanica na slivu.

Hidrološki model je dao računске hidrograme velikih voda vjerovatnoće pojave (20, 50, 100 i 500 godina) za dva scenarija tj. za dva „odgovora sliva“. Ovakav pristup ima svoje opravdanje u činjenici da se razmatra sliv površine 6273,3 km², na kojem se ekstremne

hidrološke situacije ne dešavaju u svakom dijelu sliva u isto vrijeme.

Hidraulički otpori tečenju određeni su na bazi ranijih hidrauličkih simulacija, na ovom i sličnim slivovima u zavisnosti od morfometrijskih karakteristika osnovnog korita i obraslosti inundacionog pojasa. Preciznije određivanje Manningovog koeficijenta hrapavosti obavljeno je u sklopu kalibracije modela, koja je vršena na dionicama vodotokova gdje postoje hidraulička mjerenja i opažanje vodnih valova (dionice pokrivene vodomjernim stanicama koje imaju određenu Q-h krivu).



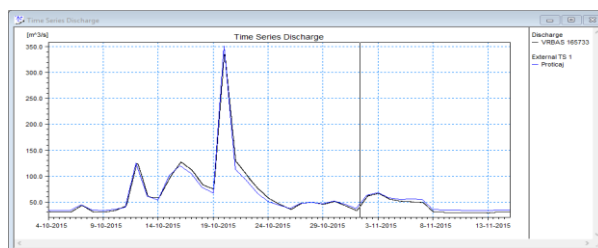
Slika 4. Sliv Vrbasa podjeljen na podslivove prema lokacijama VS i lokalitetima za ulazne hidrograme potrebne za hidraulički model

Kalibracija i validacija hidrauličkog modela. Kalibracija hidrauličkog modela urađena je odvojeno za dio sliva rijeke Vrbas u FBiH i sliva koji se nalazi u Republici Srpskoj.

Ovakav pristup je odabran iz razloga velikih različitosti u dostupnim podacima. Dostupni podaci sa vodomjernih

stanica u FBiH su bazirani na časovnom vremenskom koraku osmatranja, dok su na području Republike Srpske vršena dnevna osmatranja (prosječan dnevni proticaj i nivo vode). Najviše operativnih podataka sa vodomjernih stanica postoji za događaj iz 2015. godine, tako da je to ujedno bio i najpouzdaniji set podataka za kalibraciju.

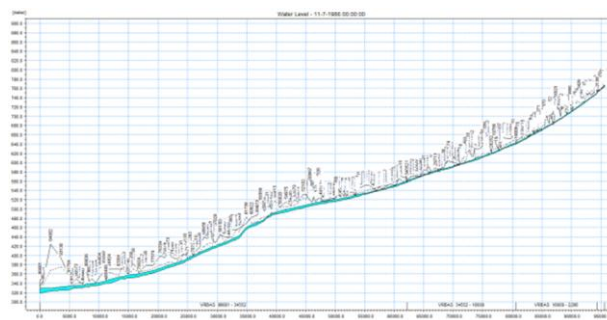
Rezultati kalibrisanog modela dali su zadovoljavajuće rezultate koji se u velikoj mjeri poklapaju sa osmotrenim nivoima na vodomjernim stanicama na rijeci Vrbas u FBiH i Republici Srpskoj. Kalibracija je vršena na ukupno šest vodomjernih stanica i generalno su dobijeni visoki faktori korelacije od preko 0,95.



Slika 5. Prikaz opaženog (plava) i simuliranog proticaja na VS „Delibašino Selo“

REZULTATI ANALIZE HIDRAULIČKOG MODELIRANJA VELIKIH VODA

Nakon provedene kalibracije i validacije hidrauličkog modela, pristupilo se hidrauličkoj analizi propagacije velikih računskih voda rijeke Vrbas sa pritokama odgovarajućeg povratnog perioda (povratni periodi 1/20, 1/100 i 1/500 godina), kako je to definisano u Metodologiji za izradu mapa opasnosti i rizika od poplava na slivu rijeke Vrbas.



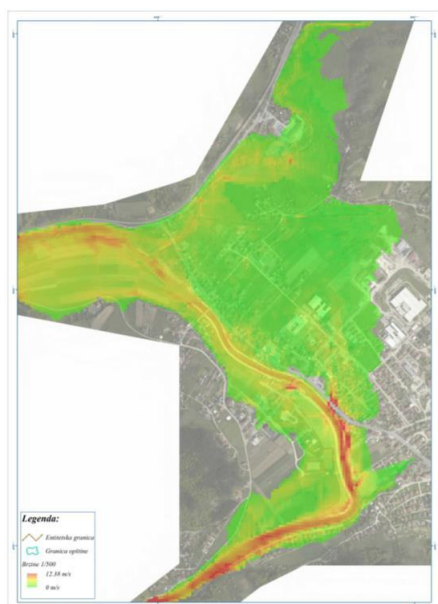
Slika 6. Hidraulički uzdužni profil rijeke Vrbas na dionici od entitetske linije pa uzvodno do početka hidrauličke analize za velike vode ranga pojave 1/100

Dobijeni rezultati su potvrdili ranije poplavne događaje na slivu (naročito poplavni događaj iz 2014. godine) te

pokazali slaganja na ranije urađenim parcijalnim hidrauličkim analizama pojedinih dionica toka rijeke Vrbas (rezultati hidrauličke analize rijeke Vrbas od mosta u Klačnicama pa nizvodno do ušća u rijeku Savu - Idejno rješenje, 2009. godina).



Slika 7. Mapa dubina plavljenja rijeke Vrbanje u zoni Čelince za Scenario 1 i velike vode ranga pojave 1/500



Slika 8. Mapa brzina plavljenja rijeke Vrbanje u zoni Čelince za Scenario 1 i velike vode ranga pojave 1/500

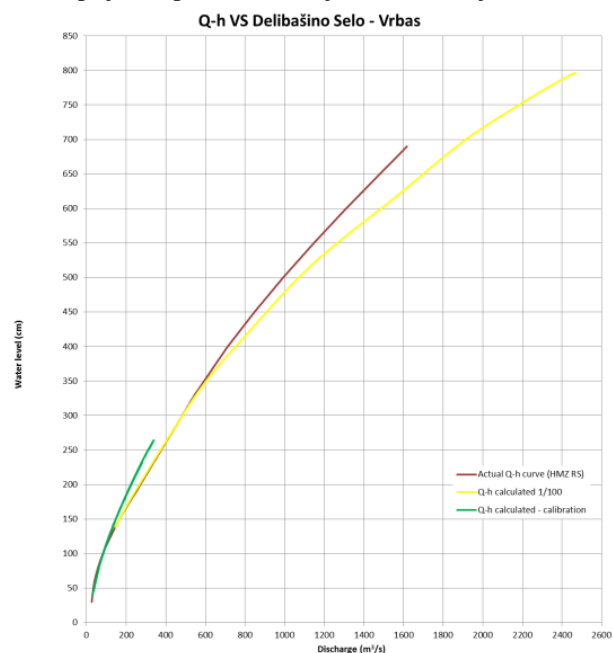
Takođe, verifikovan je pristup korišćenja dva hidrološka scenarija koja su mjerodavna za donji i srednji dio sliva i za gornji dio sliva rijeke Vrbas.

Mape dubina su realizovane za područja Republike Srpske i Federacije BiH za oba scenarija plavljenja (Scenario 1 i Scenario 2), te za tri ranga pojave velikih voda 1/20, 1/100 i 1/500 godina.

Mape brzina su određene korišćenjem 1D+2D modela za područje vodnog toka rijeke Vrbas (RS i FBiH), rijeke Vrbanje sa pritokom Jošavkom, pritoke Plive, te ostalim značajnijim pritokama rijeke Vrbas.

REZULTATI HIDRAULIČKOG MODELIRANJA NA LOKACIJAMA VODOMJERNIH STANICA

Rezultati hidrauličkih analiza pored ulaznih parametara za izradu mapa opasnosti, treba da verifikuju dosadašnja mjerenja na lokalitetima vodomjernih stanica te da daju potrebne računске Q-h krive kako bi se unaprijedile predikcione mjere na slivu rijeke Vrbas.



Slika 9. Q-h kriva rijeke Vrbas na lokalitetu VS 'Delibašino Selo'

Na lokacijama vodomjernih stanica vršeno je poređenje sledećih krivih:

1. Aktuelna Q-h kriva (HMZ RS I HMZ FBiH) kao zvanične krive nadležnih Institucija iz sektora voda
2. Proračunata – kriva dobijena iz kalibracije modela

3. Proračunata Q-h kriva za poplavni događaj ranga pojave 1/100

Zaključci poređenja krivih je prilično dobro slaganje u domenu mjerenja i simuliranja malih i srednjih voda, dok odstupanja nastaju prilikom definisanja mjerodavnog odnosa Q i h pri velikim vodama. Ovo je posledica ekstrapolacije ranijih krivih, ali i nedostataka mjerenja u ključnim trenucima povodnja.

Preporuka je da se u narednom periodu izvrše redovna mjerenja u širem intervalu za potvrdu Q-h krivih.

2D HIDRAULIČKI MODEL TEČENJA

Mape opasnosti zahtjevaju umnožak dubine i brzine pri mjerodavnom računskom poplavnom događaju. Primjenom 2D hidrauličkog modela tečenja u prvom redu, realnije su objašnjeni procesi plavljenja, ali je dobijen i vektorski i rasterski prikaz brzina u svakoj tački poplavnog poligona, te je koeficijent opasnosti 'O' dobio sigurniju komponentu umnoška nego što je srednja profilska brzina.

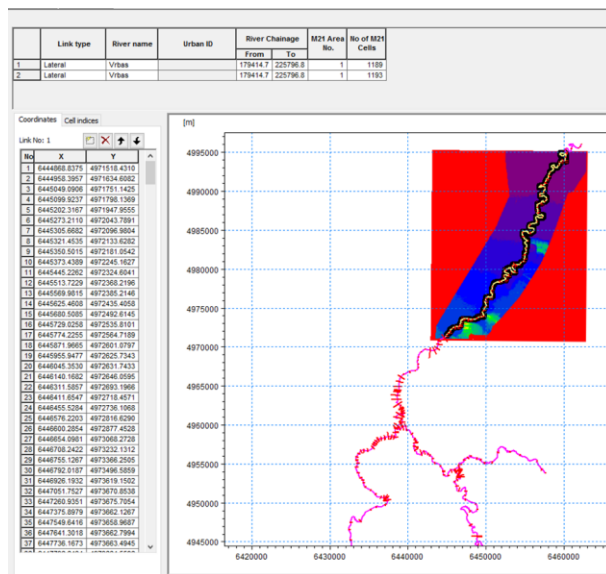
Kako je područje 2D hidrauličke analize izuzetno veliko, analiza je rađena iz četiri segmenta:

- Donji tok rijeke Vrbas od Klačnica do ušća u rijeku Savu. Ovo područje odlikuje širok inundacioni pojas na dužini od cca 50 km vodnog toka po osovini,
- Tok rijeke Vrbas od Klačnica pa uzvodno do entitetske linije, uključujući i rijeku Vrbanju sa pritokama,
- Tok rijeke Vrbas na teritoriji FBiH i
- Rijeka Pliva na kompletnoj dužini na teritoriji Republike Srpske.

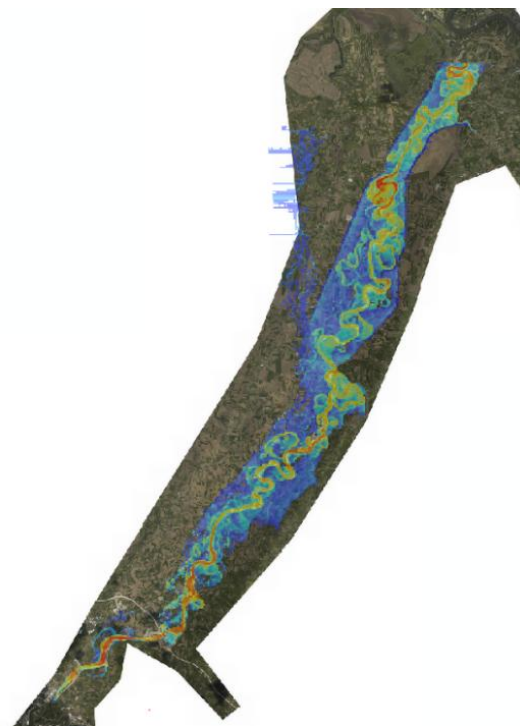
Podjela 2D hidrauličkog modela izvršena je po logičkim cjelinama, ali i tako da se ulazni geometrijski fajl i potrebnog vremena za obavljanje simulacije dovede na tehnički i vremenski prihvatljiv nivo.

U poređenju sa rezultatima 1D tečenja utvrđena su veoma dobra slaganja u vrijednostima poplavnog događaja, te potvrđene ranije pretpostavke o nedovoljnom nadvišenju lijevog vrbaškog nasipa na nekim potezima, gdje je analiza i 1D i 2D modeliranja utvrdila prelivanje nasipa za velike računске vode vjerovatnoće pojave 1/500 godina.

Rezultat simulacije integrisanog 1D+2D modela na teritoriji FBiH, takođe su u granicama prihvatljivih, kao u 1D modelu. Prostorni raspored brzina 1D+2D modela, zbog uskog proticajnog profila veoma je blizak rezultatu 1D modela, izuzev na kraćim dionicama vodnog toka sa širokom inundacijom.



Slika 10. Definisane veze između MIKE11 i MIKE21 na dijelu toka rijeke Vrbas od Klačnica do ušća u rijeku Savu



Slika 11. Rezultat 2D modeliranja za velike računске vode vjerovatnoće pojave 1/500 na dijelu toka rijeke Vrbas od Klačnica do ušća u rijeku Savu

MAPE OPASNOSTI I MAPE RIZIKA OD POPLAVA NA SLIVU RIJEKE VRBAS

Krajnji rezultat projekta predstavljaju mape opasnosti od poplava dobijene analizom dubina i brzina plavljenja na kompletnom području hidrauličke analize sliva rijeke Vrbas u formatu MIKE Zero Grid Series. U okviru MIKE Zero Grid Series izvršena su dodatna podešavanja izlaznih rezultata (eliminisanja dubina plavljenja manjih od 2cm, sređivanja eventualnih visokih kota DMT koje su nastale kao greška u toku obrade LIDAR snimka).

Kako su mape opasnosti izrađene kao integrisana opasnost na poplavnom području u zavisnosti od dubine i brzine plavljenja, tako i sami rizici od plavljenja stanovništva i materijalnih dobara zavise od tih hidrauličkih veličina.

Socio-ekonomsko stanje po naseljima u opštinama sliva rijeke Vrbas i prikupljanja ostalih prostornih socio-ekonomskih parametara su značajna radi kvantifikacija vrijednosti sveukupne imovine i dalje analize rizika od poplava. Različiti prostorni socio-ekonomski podaci su prikazani u GIS formi, na način da se mogu integrisati sa mapama opasnosti od poplava, kako bi se izradile mape rizika od poplava.

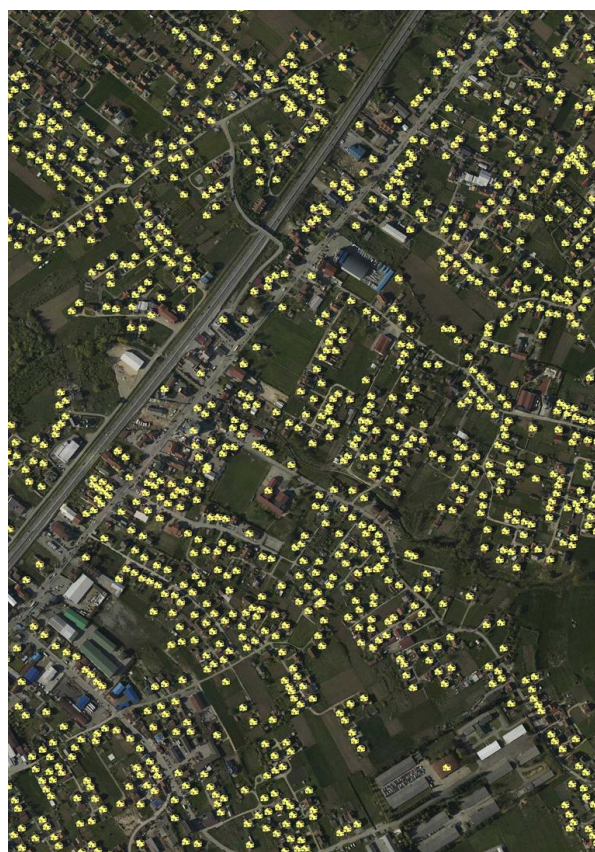
Usvojene su dve metode prikupljanja podataka o socio-ekonomskim parametrima na slivu rijeke Vrbas.

- Prvi metod istraživanja za ciljnu grupu je imao opštine, odnosno predstavnike lokalne vlasti i uprave, institucija, predstavnike mjesnih zajednica i sl. Podaci, koji su dobijeni od ove grupe ispitanika, su prikupljeni na sastancima/fokus grupama.
- Drugi metod istraživanja podrazumijeva drugu ciljnu grupu, odnosno građane / domaćinstva u naseljima. Osnovni cilj je da određeni dio podataka, koje predstavnici opštine nisu bili u stanju prikupiti (kao što je tip i struktura objekata, vrijednost pokretne imovine, vrijednost poljoprivrednih zaliha i stočne hrane i sl.) prikupi i predstavi na odgovarajući način. Metoda obezbjeđivanja podataka, za ovu ciljnu grupu bio je telefonska anketa, dok je reprezentativni uzorak obuhvatio 3.500 domaćinstava iz svih naseljenih mjesta koja mogu biti poplavljena.

Nakon ažuriranja socio-ekonomskih parametara, razvrstanih u kategorije kako je to definisano u Metodologiji, bilo je potrebno odrediti **statističke jedinice sagledavanja rizika**.

Statističke jedinice definišu površine posmatranja rizika na određenom poplavnom području, i to:

- Osnovna statistička jedinica za sagledavanje rizika u poljoprivredi jeste površina izrađena u hektarima (ha) namjene zemljišta kako je to definisala CORINE-a iz 2012. godine
- Osnovna statistička jedinica za sagledavanje rizika po stanovništvo jeste broj stanovnika u poplavljenoj području. Površina na koju se obračunava rizik po stanovništvo na cjelokupnom slivu nije mogla biti definisana samo preko obuhvata, koji je odredio granicu naseljenih mjesta. Prije svega pri izradi mape rizika mora se računati i sa faktorom gustine naseljenosti, kako bi se izbjegao slučaj da se na dijelu sliva koji je rijetko naseljen na velikoj površini obuhvata naseljenog mjesta ne dobije ekstremno visok rizik, što u stvarnosti nije slučaj.



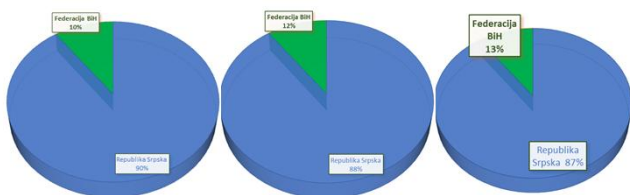
Slika 12. Primjer prikaza prostornog rasporeda objekata domaćinstava i društvenih objekata na slivu rijeke Vrbas – područje Banja Luke

Cjelokupni proces izračunavanja vrijednosti opasnosti i rizika od poplava se zasniva na složenoj rasterskoj kalkulaciji i odnosima pojedinih slojeva i vrijednosti upisanih u svakoj od ćelija rastera.

Vrijednost ocjene opasnosti u prostoru zavisi od više faktora prilikom izračunavanja, a te faktore možemo podijeliti u dvije grupe:

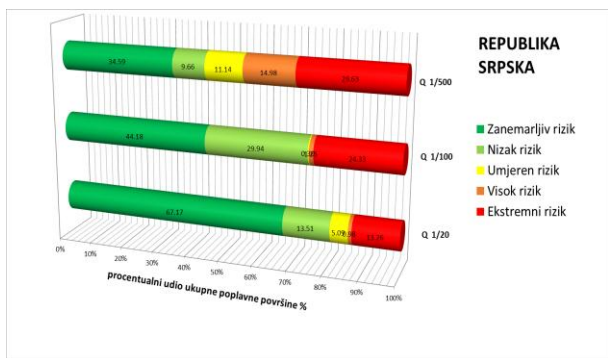
- Prostorni faktori i
- Vrijednosni faktori.

U nastavku se prikazuju ključni rezultati mapiranja i indikatora rizika od poplava na slivu rijeke Vrbas:



Slika 13. Odnos ukupne poplavne površine između Republike Srpske i FBiH na slivu rijeke Vrbas za velike računске vode vjerovatnoće pojave 1/20, 1/100 i 1/500

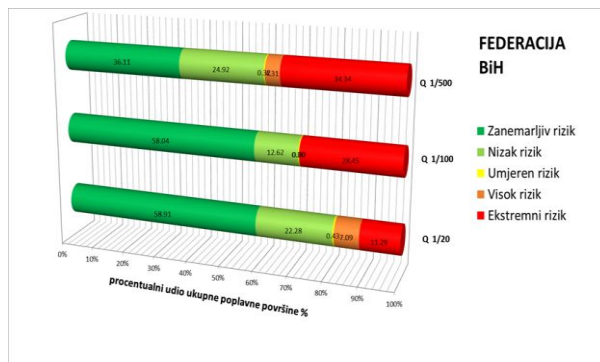
Kao što je vidljivo sa prethodne slike odnos opasnosti i rizika od poplava između dva entiteta u BiH je u približnom odnosu 90% : 10% na strani Republike Srpske, što je i logično, imajući u vidu morfometrijske karakteristike srednjeg i donjeg dijela sliva koji se nalazi u Republici Srpskoj.



Slika 14. Tendencija poplavnog rizika na teritoriji Republike Srpske prema kategorijama i različitim rangovima pojave poplave

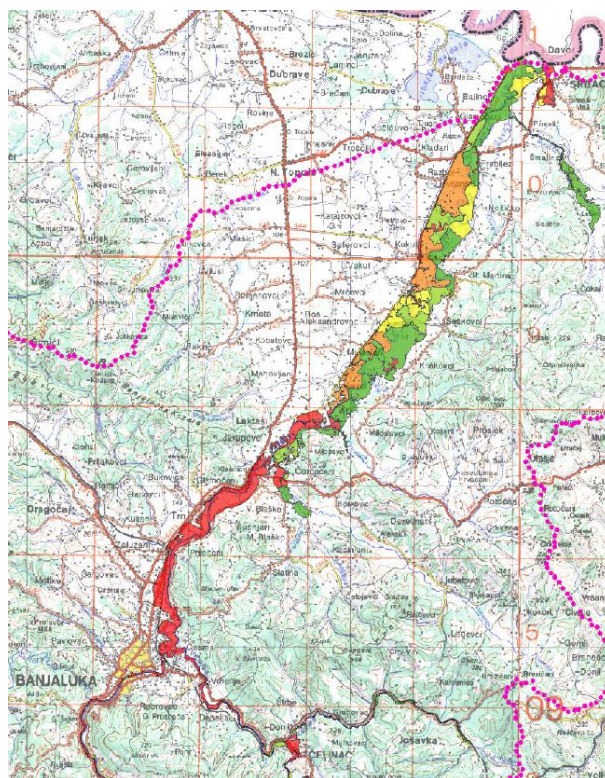
Sa slike 14 primjetno je da pri rangovima poplave povratnog perioda 1/20 i 1/100 imamo ekstremne rizike koji su većinom vezani za prvu i drugu terasu vodotoka, te da sa u širim inundacionim zonama kvantifikuje zanemarljiv do nizak rizik. Pri velikim vodama ranga pojave 1/500 oko 30% poplavljenih površina nalazi se u ekstremnom riziku, 15% u visokom dok se procenat zanemarljivog rizika umanjuje za duplo u odnosu na

vode ranga pojave 1/20. Na slici 15 daje se prikaz tendencije poplavnog rizika za FBiH.

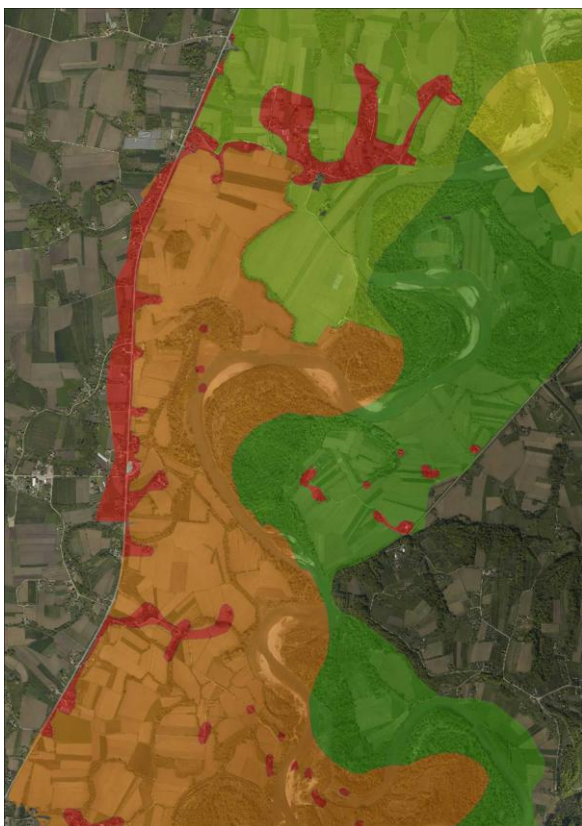


Slika 15. Tendencija poplavnog rizika na teritoriji FBiH prema kategorijama i različitim rangovima pojave poplave

Na narednim slikama 16 i 17 daju se neki od rezultata mapiranja rizika od poplava na slivu rijeke Vrbas.



Slika 16. Pregledna karta rizika od poplava po stanovništvo na slivu rijeke Vrbas na teritoriji RS



Slika 17. Mapa rizika od plavljenja stanovništva rijeke Vrbas u zoni naselja Kukulje za velike vode ranga pojave 1/500

ZAKLJUČCI

Mape opasnosti i mape rizika na slivu rijeke Vrbas su pilot projekat analize opasnosti i rizika od plavljenja na celom slivau Vrbasa u BiH. One su bazni dokumenti za izradu Planova upravljanja poplavnim rizikom. Imajući u vidu da se planira izrada mapa opasnosti i rizika na celoj teritoriji BiH bilo je važno da ovaj projekat ukaže na moguće poteškoće pri izradi tih dokumenata. Ovaj dokument daje smjernice kako da se opasnost i rizik od poplava uniformno tretiraju na nivou BiH. Dokument je izrađen u skladu sa EU Direktivama poplavama i dosadašnjom praksom u regionu i Evropskoj uniji.

Kartiranje poplavnih područja koje se odnosi na opasnosti i rizik od poplava predstavlja značajnu nestrukturnu mjeru zaštite od poplava. Međutim, da bi jedna ovakva sveobuhvatna mjera bila realizovana, bilo je potrebno detaljno sagledati sve morfološke, hidrološke, hidrauličke i socio-ekonomske prilike i parametre na slivu.

Paralelno sa prikupljanjem podataka i hidrološkom obradom, vršena je geodetska prospekcija i snimanje kompletnog dolinskog prostora na slivu rijeke Vrbas sa najznačajnijim pritokama na kojima su bilježena istorijska plavljenja. Snimljeni broj poprečnih profila osnovnog korita rijeke Vrbas i pritoka u kombinaciji sa LIDAR snimanjem cca 330 km² dolinskog prostora uz glavne tokove omogućio je stvaranje hidrauličkog 'kontinualnog' modela rijeke Vrbas od ušća u rijeku Savu pa uzvodno do početka hidrauličke analize u Federaciji BiH, sa najznačajnijim pritokama. Ovakav kontinualan i kompleksan hidraulički model u kombinaciji sa rezultatima hidrološkog modeliranja i statističke analize sliva, koristio je neustaljeno tečenje kao ulazne granične uslove, što je omogućilo realno praćenje propagacije poplavnog vala i reakcije pojedinih dijelova sliva na ekstremne padavine i formirane velike računске vode vjerovatnoće pojave 1/20, 1/100 i 1/500 godina.

Hidraulički model poslužio je i provjeri postojećih krivih proticaja na vodomjernim stanicama, ali i ukazao na neophodnost mjerenja vodostaja i proticaja naročito u periodima velikih voda, kako bi novoodređene Q-h krive u narednom periodu dobile svoju verifikaciju u područjima velikih voda.

Nakon izrade hidrološkog i hidrauličkog modela stvoreni su preduslovi za izradu mapa opasnosti od poplava u zavisnosti od računskih velikih voda uobičajnih vjerovatnoća pojave, opsega, dubine i brzine poplavnog vala.

Jedna od ključnih prednosti ovog projekta jeste uzimanje vektorske vrijednosti brzine poplavnog vala u svakoj tački poplavnog poligona primjenom 2D hidrauličkog modeliranja.

Na slivu rijeke Vrbas nije zabilježen rizik po zaštićena područja, niti po kulturno - istorijsko nasleđe. Svi dobijeni atributi iz ovih segmenata socio-ekonomskih prilika našli su se van poplavne zone. Izuzetak je vodozahvat vodovoda Grada Banja Luka iz rijeke Vrbas, koji se ne može mapirati kao rizičan izuzev u kombinaciji sa kartama IPPC postrojenja. Kada su u pitanju postrojenja koja mogu da dovedu do incidentnih zagađenja i prouzrokuju onečišćenje na širokom području, prikupljeni podaci definisali su dva takva objekat (IPPC) postrojenja na teritoriji FBiH, u opštini Bugojno i Jajce pri poplavama od računskih petstogodišnjih velikih voda. U skladu sa ovim podatkom i EU direktivama o poplavama interpretacija ovakvog slučaja jeste da se kompletno područje nizvodno od lokaliteta IPPC postrojenja označi kao

'ekstremni rizik', što je u ovom projektu urađeno. Imajući u vidu da se nizvodno od ovih postrojenja postoje akumulacije koje u značajnoj mjeri 'amortizuju' propagaciju ovog tipa zagađenja, uticaj na nizvodne dionice vodnog toka bi trebao da bude predmet posebne sveobuhvatne stručne analize, naročito zbog uticaja na otvoreni vodozahvat iz rijeke Vrbas za potrebe vodosnabdijevanja Grada Banja Luke i ostalih izvorišta vodosnabdijevanja, čiji su bunari neposredno uz rijeku Vrbas.

Prikazani pristup mapiranju može da posluži kao realna i kvalitetna osnova za dogradnju modela prognoza poplavnih talasa, upravljanje poplavama u realnom vremenu i osnova za odgovarajuće upravljanje akumulacijama i hidroelektranama u slivu rijeke Vrbasa. Takođe, projekat svoju upotrebnu vrijednost manifestuje i kod prevencije i zaštite od poplava na označenim plavnim područjima u slivu, kod izrade sistema ranog upozorenja od poplava koji će se sinhronizovano realizovati sa modelima prognoza poplava.

Ključni doprinos dokumenta, treba da se reflektuje u planerskim i projektnim aktivnostima na slivu, jer isti treba da bude polazna osnova za izradu projektne i plansko-prostorne dokumentacije na slivu, u cilju sagladavanja prevencije i procjene šteta od poplava, uz uspostavljanje mjera osiguranja u područjima sa poplavnim rizikom, kako se to praktikuje u zemljama Evropske unije.

LITERATURA

- [1] Mape opasnosti i rizika od poplava u slivu rijeke Vrbas, Konzorcijum Zavod za vodoprivredu, Bijeljina & Zavod za vodoprivredu, Sarajevo & Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi, Beograd & Proning DHI, Zagreb.
- [2] Idejno rješenje uređenja donjeg toka rijeke Vrbas od ušća u rijeku Savu pa uzvodno do mosta u Klačnicama, na dužini od 52,0 km (2009), Zavod za vodoprivredu, Bijeljina.
- [3] Studija: Analiza bilansa voda (2011), Zavod za vodoprivredu, Bijeljina.
- [4] Preliminarna procjena rizika od poplava na području Republike Srpske (2012), Zavod za vodoprivredu Bijeljina.
- [5] Preliminarna procjena rizika od poplava na vodotocima I kategorije u FBiH (2013), Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu.
- [6] Metodologija izrade mapa rizika i mapa opasnosti od poplava na vodotocima I kategorije u FBiH (2013), Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu.
- [7] Preliminarna procjena rizika od poplava na području Republike Srpske (ažurirana poplavnim događajem iz 2014. godine)(2014), Zavod za vodoprivredu Bijeljina.

FLOOD HAZARD AND FLOOD RISK MAPS FOR THE VRBAS RIVER BASIN IN B&H – BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF FLOOD RISK MANAGEMENT PLANS

by

Vujadin BLAGOJEVIC, Nedeljko SUDAR ¹⁾, Zana TOPALOVIC ²⁾, Alma BIBOVIC ³⁾, Branislav Djordjevic

¹⁾ Bijeljina Institute for Water Management, ²⁾ Univeristy of Banja Luka – Faculty of Architecture and Civil Engineering, ³⁾ Sarajevo Institute for Water Management

Summary

The development of flood hazard and flood risk maps for the Vrbas River Basin is a pilot project for assessing the hazards and risks of flooding in the basin. The mapping will enable the development of flood risk management plans for the Vrbas River Basin in the Republika Srpska and FB&H. This type of mapping is the most important non-structural measure of flood protection, requiring detailed analyses of morphological, hydrological, hydraulic and socio-economic situation in the potential flood area. The hydrological analysis and the model of unsteady flow of the Vrbas and its tributaries enabled the monitoring of the flood wave routing and an appropriate model of the behaviour of individual parts of the basin during extreme rainfall events of 20, 100 and 500-year return periods.

The main goal was to obtain hydraulic parameters for the development of flood hazard maps. In addition, the hydraulic model was used to verify the existing rating curves from the gauging stations on the Vrbas. This concluded that it is necessary to measure water stage and discharge, especially in periods of flood flows, so that future rating curves for the upstream areas are more precise.

Flood risk maps are presented in accordance with the Methodology, depending on the flood return period, the extent of flooding, and the depth and velocity of the flood wave. One of the key advantages of understanding flood risks during the mapping of the Vrbas River Basin was obtaining a vector value of flood wave velocity at each point of the flood polygon using 2D hydraulic modelling. In this way, the flood hazard level is more

accurately modelled for each flood polygon point than using the mean profile velocity or only the flood depth (as is the case in more than 50% of EU Member States). The development of a unique and continuous hydraulic model of unsteady flow in the Vrbas from the source zone to the confluence with the Sava, including the most important tributaries, enabled a more realistic picture of flood flow routing of certain return periods. This allows the development of a forecast model, which will analyse possible flood scenarios, i.e. the behaviour of the basin during the maximum computed rainfall. This approach is necessary due the size of the basin (over 6,500km²). The analysis of the behaviour of the entire basin (the upper, middle and lower courses) at the same time during a large computed rainfall of the same return period would result in the routing of flood waves of far smaller probability in the middle course, and especially in the lower course of the Vrbas. This would lead to the underestimation of the flood risk in the upper part of the basin, and overestimation in the middle and lower parts.

Flood hazard maps, combined with socio-economic analyses, represent two basic components for the development of flood risk maps. Over 40,000 attribute data (socio-economic) provided a high-quality insight into the social and economic situation in the basin. Flood risk maps (hazards) are updated on average every six years, due to social activities in the potential flood area, but also due to changes in hydrological and hydraulic regimes.

Key words: Hydrological model, Vrbas River Basin, computed flood flows, flood hazard maps, and flood risk maps.

Redigovano 3.11.2018.