Baština Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

Simpozij - Upravljanje rizicima od poplava i ublažavanje njihovih štetnih posljedica

Šarić, Taib; Beus, Vladimir

2015

Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

https://bastina.anubih.ba/items/199c4b7a-f8e3-4ea9-a1ad-3e29893351f0

Preuzeto s Baštine Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

https://bastina.anubih.ba/

DOI: 10.5644/PI2015-161-07

UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA POPLAVE U SLIVU RIJEKA BOSNE I SAVE

Mitja Brilly, Mojca Šraj, Katarina Zabret, Miha Primožič, Anja Vihar, Andrej Vidmar

University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering
Jamova 2, Ljubljana, Slovenia
e-mail: Mitja.Brilly@fgg.uni-lj.si

Sažetak

Za hidrološke analize su upotrijebljene prognoza klimatskih promjena za maksimalne dnevne oborine i temperature za tri razdoblja unaprijed. Hidrološka analiza izvedena je pomoću hidrološkog modela kalibriranog za poplavu iz 1974, prije nego su bili izvedeni radovi za obranu od poplava duž rijeke Save. Maksimalni proticaji poplava sračunati su na osnovu maksimalnih dnevnih padavina s dvadesetogodišnjim i stogodišnjim povratnim periodom. Promjene funkcija vjerojatnosti napravljene su za vodomerne stanice duž rijeke Save i za rijeku Bosnu. Analiza poplava iz 2014. na rijeci Bosni također je uključena u analizu.

Ključne riječi: klimatske promjene, poplave, rijeka Sava, rijeka Bosna.

Uvod

U posljednjih nekoliko godina urađeno je više studija utjecaja klimatskih promjena na vodni režim u slivu rijeke Save. Analizirane su prosječne sezonske oborine i temperature, međutim, rezultati nisu mogli biti korišteni za analizu utjecaja klimatskih promjena na poplave. Promjene maksimalnih dnevnih količina oborina i temperatura sračunate su pomoću modela za prognozu klimatskih promjena (Rakovec i Ceglar, 2012). Maksimalne dnevne oborine sračunate su za povratne periode od dvadeset i sto godina, za pojedine periode u toku godine: proljeće, ljeto, jesen i zima. Padavine sa spomenutim povratnim periodima određene su za period 1990–2010. i prognozirane za tridesetogodišnja razdoblja: 2011–2040, 2041–2070. i 2071–2100.

Spomenuti podaci su bili osnova za izradu prognoze klimatskih promjena na vjerojatnost poplava (Brilly *et al.*, 2013). U analizu smo uključili rezultate

hidrološkog modela rijeke Bosne i podatke o poplavama u maju 2014. godine (ARSO *et al.*, 2014).

Utjecaj klimatskih promjena na poplave u slivu rijeke Save

Hidrološka analiza je izvedena pomoću hidrološkog modela kalibriranog za poplavu u jesen 1974. Događaj u jesen 1974. izabran je iz više razloga: poplava je zahvatila cjelokupan sliv jer se maksimum padavina u slivu rijeke Drine pojavio dva dana poslije maksimuma u Alpama, a u to vrijeme veći hidrotehnički zahvati u slivu još nisu bili završeni (brana na Pivi, sustavi za obranu od poplava duž rijeke Save). Najveći porast padavina zbog klimatskih promjena se očekuje u jesenjem periodu (Brilly *et al.*, 2014) i raspolagalo se kvalitetnim podacima za cijeli sliv (SHMZ H, 1974 i SHMZ MII, 1974).



Slika 1. Struktura hidrološkog modela rijeke Save
Figure 1. Structure of the hydrological model of the Sava River watershed

Sliv rijeke Save podijeljen je na 13 dijelova za potrebe hidrološkog modela. Izdvojeni su svi važniji desni pritoci rijeke: Kupa (III), Una (V), Vrbas (VII), Bosna (IX) i Drina (XI i XII). Model uključuje korištenje prostora s površinama sa šumom i bez šume. Svaki pojedinačni dio sliva je podijeljen na tri zone po nadmorskoj visini radi simulacije snježnih padavina i akumulacije snježnog pokrivača.

Model je upotrijebljen s jednodnevnim vremenskim korakom. Ulazni podaci su uzeti s 32 stanice za padavine, 8 stanica za temperature i evapotranspiraciju, a za provjeru rezultata je upotrijebljeno 12 vodomjera s podacima o mjerenim proticajima. Kalibracija je izvršena za period od 1. lipnja do 31. prosinca 1974. Maksimalne padavine u slivu su zabilježene od 25. do 27. rujna.

ANU BiH
АНУ БиХ

Ovako pripremljen model upotrijebljen je za simulaciju utjecaja klimatskih promjena na poplave. Na raspolaganju smo imali prognozu porasta padavina i temperatura pojedine sezone za sljedećih devedeset godina u rasterskom obliku s veličinom mreže od 0,25 stepeni. Vrijednosti za pojedine stanice odredili smo izborom vrijednosti rasterskog polja u kojem se nalazi stanica. Simulacija je obavljena s modelom i podacima korištenim za kalibraciju, s tim da smo ulaznim podacima promijenili vrijednosti maksimalnih padavina i povisili vrijednosti temperatura u cjelokupnom periodu simulacije. Povećanje temperature je homogeno raspoređeno po slivu i iznosi od 0,9 do 1 stepena u tridesetogodišnjem periodu (Ceglar i Rakovec, 2014). Klimatološke analize su urađene na osnovu podataka E-OBS (Haylock *et al*., 2008). E-OBS podaci prikupljeni su i obrađeni u okviru projekta Evropske unije. Tako su podaci iz južnih dijelova sliva rijeke Save nedostatno obrađeni. U obzir su uzete 2 do 3 stanice po državi, a iz Crne Gore nije odabrana nijedna stanica. Jednostavno Dinaridi nisu adekvatno zahvaćeni u bazi podataka.

Rezultat simulacije su vrijednosti maksimalnih proticaja izazvanih maksimalnim dnevnim padavinama s dvadesetogodišnjim i stogodišnjim povratnim periodom za sadašnji period 1961–2010. (V1 i V2) i prognoze u tridesetogodišnjim razdobljima: 2011–2040. (V3 i V4), 2041–2070. (V5 i V6) i 2071–2100. (V7 i V8) (Tabela 1).

Prema podacima u tabeli 1 povratni je period događaja iz 1974. godine nešto duži od 20 godina. E-OBS podaci na pojedinim stanicama pokazuju dosta niže vrijednosti padavina za isti povratni period, izuzev za stanice u Sloveniji, gdje su vrijednosti E-OBS padavina čak i nešto veće (Tabela 1).

Pomoću modela smo s E-OBS podacima za padavine s dvadesetogodišnjim i stogodišnjim povratnim periodom sračunali protjecaje za današnje stanje klime (u periodu 1960–2010) i usporedili ih s rezultatima modela i podacima iz godišnjaka za poplavu u 1974. godini (SHMZ H, 1974) (Tabela 2). Odstupanja u protjecaju dosta su manja nego odstupanja u padavinama u tabeli 1. Kalibracija je bila dosta uspješna, iako su najslabiji rezultati postignuti pri proticajima rijeke Bosne.

Protjecaji s prognoziranim vrijednostima za stogodišnji povratni period prikazani su u tabeli 3. Rezultati u tabeli su bili osnova za analizu utjecaja na vjerojatnost pojave maksimalnih proticaja.

Na osnovu proticaja sračunatih za sadašnje stanje E-OBS padavina i poznate vjerojatnosti pojave maksimalnih protoka sračunate s podacima protjecaja do 1960, odredili smo vjerojatnosti protjecaja prouzrokovane padavinama s dvadesetogodišnjim i stogodišnjim povratnim periodom. Naime, noviji podaci protjecaja rijeke Save, nakon 1960. godine su opterećeni utjecajem

regulacijskih radova i akumulacija hidroelektrana. Upotrijebljeni podaci o vjerojatnosti sračunati su na sličnim osnovama za sve stanice u slivu reke Save (Prohaska 2003).

Tabela 1. Vjerojatnost pojave maksimalnih dnevnih padavina (mm) za pojedine stanice, podataka mjerenih 1974. godine, podataka E-OBS V1 i V2 te podataka prognoze utjecaja klimatskih promjena za period 2041–2070, V5 i V6

Table 1. Probability of maximum daily precipitation (mm), measured data from 1974, E-OBS data V1 and V2, and climate change forecast 2041–2070, V5 i V6

	povratni period			Max padavine	V1	V2	V5	V6
Ime st.	1000	100	20	u 1974 g.[mm]	EOBS_20	EOBS_100	20_41-70	100_41-70
Ljubljana	190,70	106,31	72,18	95,8	88,5	110,0	110,0	148,0
Rateče	214,93	121,16	83,23	42,6	131,9	171,1	147,5	191,3
Zagreb	117,15	65,90	45,17	34,5	43,6	50,3	52,0	67,4
Slavonski brod	104,09	59,11	40,92	31,6	31,1	38,6	36,3	47,8
Bihać	155,30	89,46	62,83	82,9	69,7	83,4	81,0	101,8
Bugojno	119,87	66,19	44,48	40,4	38,0	50,4	44,8	66,6
Sarajevo	119,99	66,95	45,50	36,0	37,6	42,6	49,6	66,5
Banja luka	86,01	57,41	45,84	56,2	34,0	44,0	38,9	53,4
Beograd	126,75	66,32	41,87	39,4	36,0	46,1	46,4	66,7
Sjenica	89,86	53,25	38,45	45,1	42,9	51,3	55,9	77,6

Tabela 2. Kalibracija modela i maksimumi u sadašnjoj klimi (m^3/s)

Table 2. Result of modelling recent climate discharge peaks (in m^3/s)

		površina	osmotreno 1974.	model	E-OBS 20	E-OBS 100
sliv	vodomjer	(km^2)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
Sava I	Čatež	10173	2294	2308	2308	2780
Kolpa	Šišinec	7321	1250	1419	1473	1522
Sava II	Crnac	23102	2147	2295	2350	2510
Una	Kostajnica	9171	1370	1445	1382	1407
Sava III	Jasenovac	29565	2580	2515	2561	2718
Vrbas	Delibašino selo	5469	691	762	620	707
Sava IV	Slavonski Brod	54134	3460	3422	3411	3573
Bosna	Doboj	9618	1095	753	742	767
Sava V	Županja	62220	3930	4057	4068	4227
Drina I	Bajina Bašta	14797	3359	2715	2336	2474
Drina II	Kozluk	17735	3041	2640	2276	2407
Sava VI	Sremska Mitrovica	87996	6275	6540	6328	6603
ušće u Dunav				6653	6432	6715

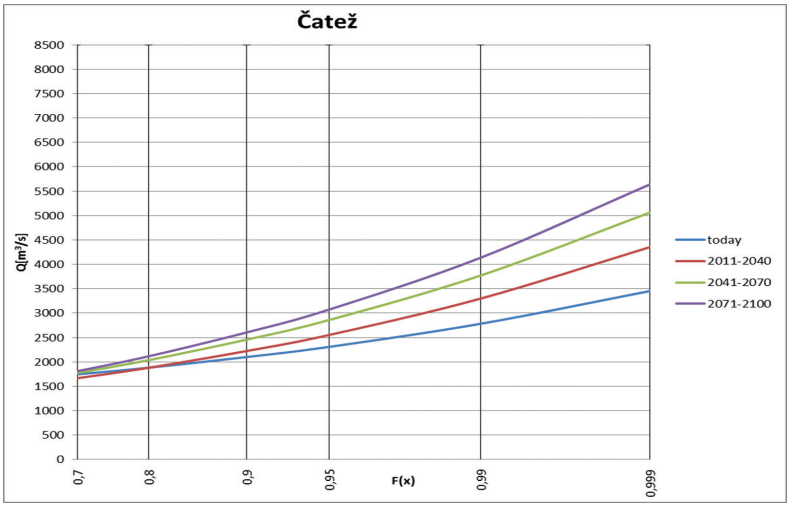
ANU BiH АНУ БиХ

Uvedena je pretpostavka da se vjerojatnost prognoziranih vrijednosti protjecaja za padavine sa stogodišnjim i dvadesetogodišnjim povratnim periodom ne mijenja. Jednostavno, ako maksimalne padavine s dvadesetogodišnjim povratnim periodom uključene u događaj iz 1974. godine prouzrokuju protjecanje s povratnim periodom od 15 godina, onda će i prognozirani protjecaji za padavine s istim povratnim periodom imati petnaestogodišnji povratni period. Na raspolaganju su dva podatka, što omogućava definiranje vjerojatnosti pomoću Gumbelove raspodjele. Tako smo dobili promjenu dijagrama vjerojatnosti za vodomjernu stanicu Čatež (Slika 2). Za stanice za koje se nije raspolagalo s raspodjelom vjerojatnosti, ocijenjeni su samo procenti povećanja (Tabela 4). U tabeli 4 prikazani su rezultati za BiH. Prema rezultatima u tabeli 4 povećanje protjecaja slično je kao na VS Čatež.

Tabela 3. Rezultati prognoziranih protjecaja za padavinama sa stogodišnjim povratnim periodom (m^3/s i %)
Table 3. Results of modelling climate change flood peaks using the E-OBS data of the 100-year return period (in m^3/s and %)

Dio sliva	Vodna stanica	E-OBS m^3/s	11-40 m^3/s	41-70 m^3/s	71-2100 m^3/s	41-70/E-OBS %
Sava I	Čatež	2780	3297	3770	4134	1,36
Kolpa/Kupa	Šišinec	1522	1595	1664	1722	1,09
Sava II	Crnac	2510	2670	2817	2929	1,12
Una	Kostajnica	1407	2060	2245	2188	1,60
Sava III	Jasenovac	2718	2863	2993	3086	1,10
Vrbas	Delibašino selo	707	813	845	825	1,20
Sava IV	Slavonski Brod	3573	3895	4062	4142	1,14
Bosna	Doboj	767	985	1025	1103	1,34
Sava V	Županja	4227	4699	4957	5270	1,17
Drina I	Bajina Bašta	2474	2683	3087	2719	1,25
Drina II	Kozluk	2407	2639	3059	2686	1,27
Sava VI	Sremska Mitrovica	6603	7143	7580	7409	1,15
Ušće		6715	7253	7695	7509	1,15
					Sr. vr.	1,22
					maks.	1,60
					min	1,09

ANU BiH АНУ БиХ



Slika 2. Vjerojatnost pojave maksimalnih protjecaja za VS Čatež (m^3/s)
Figure 2. Probability of peak discharges on WS Čatež (m^3/s)

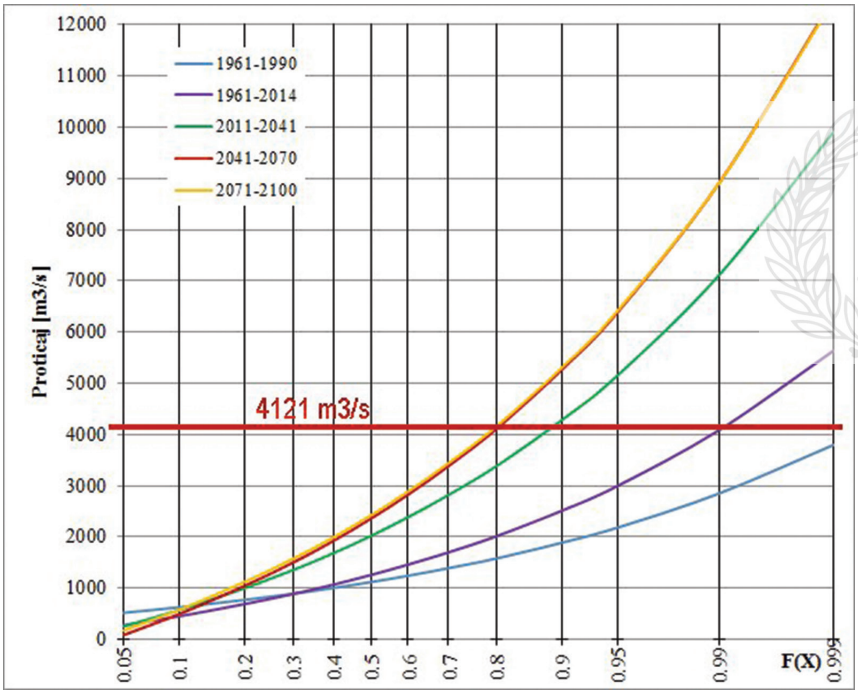
Tabela 4. Povećanje maksimalnih proticaja sa stogodišnjim padavinama
Table 4. Increase in the maximum discharges using a 100 year return period of precipitation

ent.	rijeka	stanica	%	ent.	rijeka	stanica	%
RS	Sava	Gradiška	16	RS	Vrbas	Delibašino Selo	17
RS	Sava	Srbac	16	RS	Vrbanja	Vrbanja	17
FBiH	Una	Martin Brod	56	FBiH	Bosna	Maglaj	44
FBiH	Una	Kralje Bihać	56	FBiH	Bosna	Reljevo	44
FBiH	Una	Otoka	56	FBiH	Bosna	Raspotočje	44
RS	Una	Novi Grad – uzv.	56	FBiH	Bosna	Zavidovići	44
FBiH	Unac	Rmanj Manastir	56	RS	Bosna	Doboj	44
RS	Sana	Donji Ribnik	56	FBiH	Željeznica	Ilidža	44
RS	Sana	Prijedor	56	FBiH	Miljacka	Sarajevo	44
FBiH	Sana	Ključ	56	FBiH	Lašva	Merdani	44
FBiH	Sana	Sanski Most	56	FBiH	Krivaja	Olovo	44
FBiH	Vrbas	Daljan	17	FBiH	Krivaja	Zavidovići	44
FBiH	Vrbas	Kozluk Jajce	17	FBiH	Tinja	Srebrenik	25
RS	Vrbas	Banja Luka	17	RS	Drina	Foča – nizv.	10
				FBiH	Drina	Goražde	10

ANU BiH АНУ БиХ

Utjecaj klimatskih promjena na režim rijeke Bosne

Poplava u slivu rijeka Save i Bosne potvrđuje činjenice da se pojava poplava s dužim povratnim periodom može očekivati bilo kada. Analizirali smo vjerojatnost pojave poplava na vodomjernoj stanici Doboj (Slika 3). Na dijagramu smo primijetili utjecaj poplave iz svibnja 2014. (crvena linija) na raspored vjerojatnosti. Prema dijagramu iz perioda 1961–1990, poplava iz svibnja 2014. ima više nego hiljadugodišnji povratni period, a prema dijagramu koji uključuje period 1961–2014, vjerojatnost poplave u 2014. nešto je veća od stogodišnjeg povratnog perioda. Zbog utjecaja klimatskih promjena vjerojatnost se u prva dva perioda prognoze znatno povećava, a u trećem periodu je dijagram skoro jednak dijagramu za drugi period i nije prepoznatljiv na slici 3. Poplava iz 2014. tako ima desetogodišnji povratni period u periodu 2011–2041. i dvogodišnji povratni period u periodu od 2041. do 2100. godine.



Slika 3. Utjecaj klimatskih promjena na vjerojatnoću poplava rijeke Bosne
Figure 3. Climate change impacts on the Bosna River flood probability function

Karakteristike hidrološkog sustava rijeke Bosne će utjecaje klimatskih promjena različito rasporediti. Utjecaj na protjecaje iz krša će biti daleko manji, a također će akumulacija Modrac i poplavno područje rijeke Spreče znatno ublažiti povećanje poplavnih talasa.

Zaključci

Utjecaj klimatskih promjena je znatan i ne može se zanemariti. Međutim, pri upotrebi rezultata moramo uzeti u obzir upitnu točnost prognoze klimatskih promjena i upotrijebljenih hidroloških metoda. Pri analizi bi se moralo uzeti u obzir više poplavnih događaja, a upitni su i E-OBS podaci za jugoistočni dio sliva rijeke Save.

Zahvala: Rad je izveden zahvaljujući financijskoj pomoći UNDP pod sponzorstvom Finske vlade koja je financirala rad na analizi utjecaja klimatskih promjena, pomoći vlade Republike Slovenije, koja je financijski poduprla izradu modela, te pomoći Hidrometeoroloških zavoda BiH, koji su dali na raspolaganje hidrološke podatke.

Literatura

(1) ARSO, ULFGG i IzVRS, 2014. *Analiza poplavnega dogodka maja 2014 v Bosni in Hercegovini za porečje reke Bosne. Poročilo*.
(2) Brilly, M., Šraj, M., Vidmar, A., Primožič, M., Koprivšek, M. 2014. „Climate change impact on the flood hazard in the Sava River Basin“, u: Milačič, R., Scancar, J., Paunivić, M. *The Sava River*, Springer.
(3) Ceglar, A., Rakovec, J. 2014. „Climate Projections for the Sava River Basin“, u: Milačič, R., Scancar, J., Paunivić, M. *The Sava River*, Springer.
(4) Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D., New, M. A. 2008. „European daily high resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006“, *Journal of geophysical research*, vol. 113.
(5) Prohaska, S. 2009. *Hydrology Report for The Sava River Basin Analysis – Draft Final Report*.
(6) 2012. *Report on the development of climate projections for the Sava river basin* (part I of report for the Sava Commission).
(7) SHMZ H 1978. *Hidrološki godišnjak*, Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd.
(8) SHMZ MII 1978. *Meteorološki godišnjak II*, Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd.

THE EFFECT OF CLIMATE CHANGES ON FLOODS OF THE RIVERS BOSNA AND SAVA

Summary

A forecast of the climate change maximum daily precipitation data and temperature data for three periods in advance were taken for hydrological analysis. The hydrological analysis was achieved by using a hydrological model calibrated for a flood event in 1974, before the large flood protection

scheme was developed along the Sava River. The flood peak discharges were calculated using precipitation with a twenty and a hundred years' return period. The changes in the peak discharges probability functions were developed for the water stations along the Sava River for each period. An analysis of the 2014 floods on the Bosna River is also included in the analysis.

Key words: climate change, floods, Sava river, Bosna river.

ANU BiH
АНУ БиХ