

Stanje hidroloških podloga u BiH za potrebe izrade mapa opasnosti od poplava

The state of hydrologic data in Bosnia and Herzegovina for flood hazard mapping

Prof. dr. Borislava Blagojević, dipl.ing.

Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet
Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija
borislava.blagojevic@gaf.ni.ac.rs

Dr. Ajla Mulaomerović-Šeta, dipl.ing.

Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet
Patriotske lige 30, 71000 Sarajevo, BiH
ajla.mulaomerovic@gf.unsa.ba

Mr. Mirza Mujčić, dipl.ing.

Institut za hidrotehniku Sarajevo
Stjepana Tomića 1, 71000 Sarajevo, BiH
mirza.mujcic@heis.ba

Dr. Žana Topalović, dipl.ing.

Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet
Bul. vojvode Stepe Stepanovića 77, 78000 Banja Luka, BiH
zana.topalovic@aggf.unibl.org

Bojana Nedić, dipl.ing.

Prije: Institut za hidrotehniku Sarajevo
Stjepana Tomića 1, 71000 Sarajevo, BiH
bojana.nedic@heis.ba

Izrada mapa opasnosti i mapa rizika od poplava propisana je Evropskom direktivom o poplavama i upravljanju poplavnim rizikom. Mape opasnosti od poplava prikazuju granice dosezanja poplava, dubine i brzine vode u različitim scenarijima plavljenja, odnosno, različitim vjerovatnoćama pojave, na osnovu kojih se izrađuju mape rizika od poplava. Za izradu mapa, ključne su hidrološke podloge kojima se definišu protoci ili celi poplavni talasi zabeleženih i/ili budućih poplava. Cilj rada je prikaz situacije sa osmotrenim hidrološkim podacima i izazovima u analizi velikih voda u BiH. Na osnovu prikazanog stanja, u zaključku rada navode se preporuke u vezi sa prikupljanjem i analizom podataka o velikim vodama u BiH za potrebe izrade mapa opasnosti od poplava.

Ključne riječi

Mape opasnosti od poplava, osmotreni hidrološki podaci, velike vode, hidrološke podloge

The flood hazard and flood risk mapping is mandated by the European Directive on Floods and Flood Risk Management. These maps show flood extent, depth, and water velocity under various flooding scenarios, based on different flood probabilities. The mapping relies on hydrologic data, which define the flood flows or flood hydrographs of past and future floods. This paper aims to present the current state of gauged hydrological data and the challenges faced in analysing flood flows in Bosnia and Herzegovina. Based on this analysis, the conclusion provides recommendations for the collection and analysis of data on flood flows in Bosnia and Herzegovina to improve flood hazard mapping.

Key words

Flood hazard maps, gauged hydrologic data, flood flow, hydrologic data

Izrada mapa opasnosti i mapa rizika od poplava obavezna je prema Evropskoj direktivi o poplavama [1]. Ova direktiva ima za cilj smanjenje šteta i zaštitu ljudi i imovine od posljedica poplava, kroz sveobuhvatan pristup analizi i upravljanju rizicima.

Mape opasnosti od poplava prikazuju granice do kojih voda može da doseže, kao i dubine i brzine vode u različitim scenarijima plavljenja. Scenariji se odnose na različite vjerovatnoće pojave velikih voda, a na osnovu tih informacija izrađuju se mape rizika koje pokazuju zone sa različitim klasama rizika i pomažu u planiranju različitih mjera za ublažavanje komponenti rizika od poplava.

Ključnu ulogu u izradi ovih mapa imaju hidrološke podloge. One definišu protoke ili cijele poplavne talase zasnovane na osmotrenim podacima o velikim vodama, kao i procjenama budućih događaja, na osnovu kojih se radi hidrodinamičko modeliranje.

Izrada hidroloških podloga bazira se na osmotrenim podacima o padavinama i vodostajima/protocima, zatim karakteristikama slivnih područja kao što su površine, nagibi, vegetacija i drugo, kao i podacima o tipu tla i njegovoj sposobnosti za upijanje vode. Kvalitet hidroloških podloga

poglavito zavisi o kvalitetu osmotrenih podataka.

U radu je prikazana situacija sa hidrološkim podacima za projekat Izrade mapa opasnosti i mapa rizika od poplava u Bosni i Hercegovini (FHRMP) [2] i izrade mapa opasnosti i mapa rizika od poplava na slivu rijeke Vrbas u BiH [3]. Zatim su prikazane metode analize koje se koriste u različitim situacijama raspoloživosti podataka, sa posebnim osvrtom na moguće razlike i neizvjesnosti u ocjeni velikih voda, a u završnim komentarima su navedeni izazovi i preporuke u vezi sa prikupljanjem i analizom podataka radi unapređenja izrade hidroloških podloga u budućnosti.

1. Prikupljanje hidroloških podataka

Nadležnost za prikupljanje, obradu i distribuciju hidroloških i meteoroloških podataka na teritoriji BiH nije centralizovana, već je podijeljena između entiteta. U FBiH odgovorne institucije su Federalni hidrometeorološki zavod (FHMZ), Agencija za vodno područje rijeke Save-Sarajevo i Agencija za vodno područje Jadranskog mora-Mostar. U RS odgovorne institucije su Republički hidrometeorološki zavod Republike Srpske (RHMZRS) i Javna ustanova "Vode Srpske". S obzirom na to da ove institucije djeluju neovisno jedna o drugoj, u BiH ne postoji jedinstven sistematičan program prikupljanja i arhiviranja podataka o protocima.

Projektni tim, u okviru projekta FHRM BiH u kojem je provedena opsežna hidrološka studija za cijelu zemlju u cilju izrade hidroloških podloga za odabrana poplavna (AFA) područja, sproveo je četiri koraka da bi prikupio hidrološke i meteorološke podatke od institucija:

1. slanje upitnika osmišljenog od strane projektnog tima kako bi se izvršila procjena dostupnosti podataka;
2. prikupljanje i proučavanje popunjenih upitnika;
3. slanje zahtjeva za pribavljanje konkretnih podataka relevantnih za poplavna područja;
4. arhiviranje podataka za potrebe izrade projekta.

Traženi podaci u pogledu hidroloških podataka su uključivali:

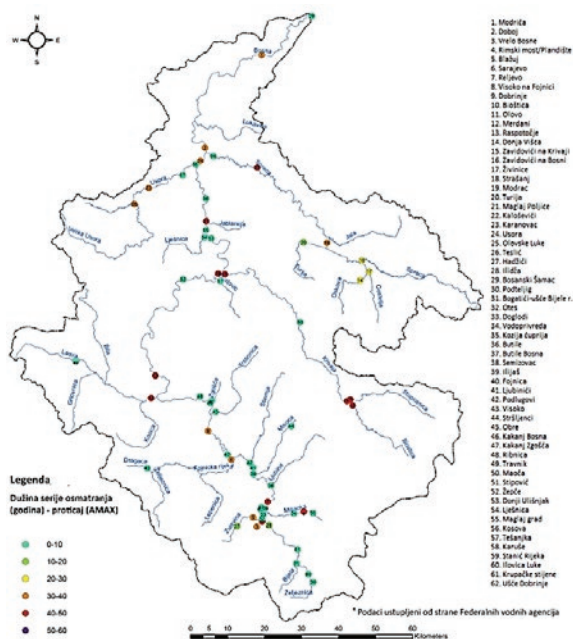
- ▶ Registrovane protoke i nivoe vode (podaci o dnevnom protoku u hidrološkim godišnjacima, satni osmotreni podaci o nivou vode sa automatskih mjernih mjesta, protoci i nivoi vode tokom poplava 2014.).

Osim toga, u obzir je uzeta dokumentacija kao što su dostavljene studije izvodljivosti, projektna rješenja, rezultati istraživanja, hidrološke studije, koje su bile važne za ovaj projekat.

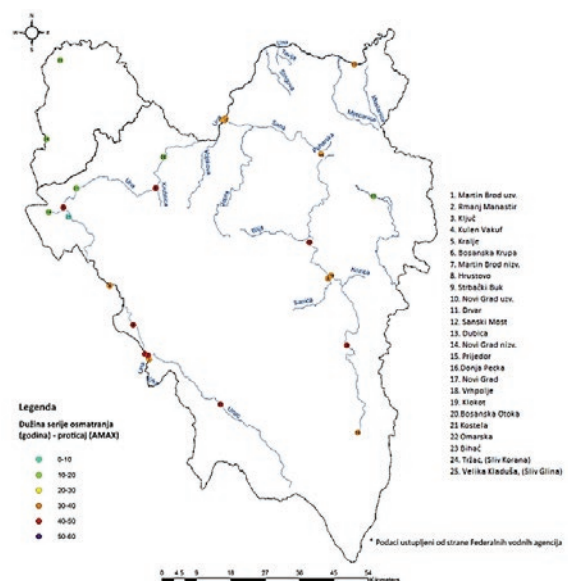
Pored održanih sastanaka, procjenu dostupnosti hidroloških i meteoroloških podataka upotpunila je i višemjesečna korespondencija sa nadležnim institucijama.

Podaci i informacije sa izabranih mjernih mjesta stigli su u različitim formatima i morali su da se digitalizuju prije pohranjivanja u GIS bazu podataka da bi bili spremni za procjenu upotrebljivosti. Upotrebljivost podataka je procijenjena u smislu dužine niza protoka za analizu vjerovatnoće pojave poplave velike vode i raspoloživosti podataka o osmotrenim satnim nivoima vode i protoka za analizu hidrograma velikih voda.

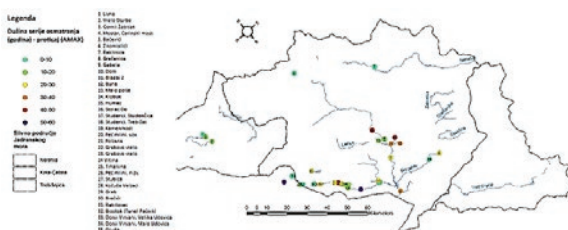
Na slikama 1-5 dat je prikaz hidroloških stanica po slivovima ili grupi slivova sa prikazom dužine ukupnog niza osmotrenih podataka maksimalnog godišnjeg proticaja (AMAX) koji su bili dostupni projektnom timu (zaključno sa 2016 godinom) [2]. Na slici 6 prikazane su hidrološke stanice na slivu Vrbasa pri izradi Mapa opasnosti i rizika od poplava na slivu [3]. Dužine osmatranja su od 2-53 godine odnosno prosječno 24 godine.



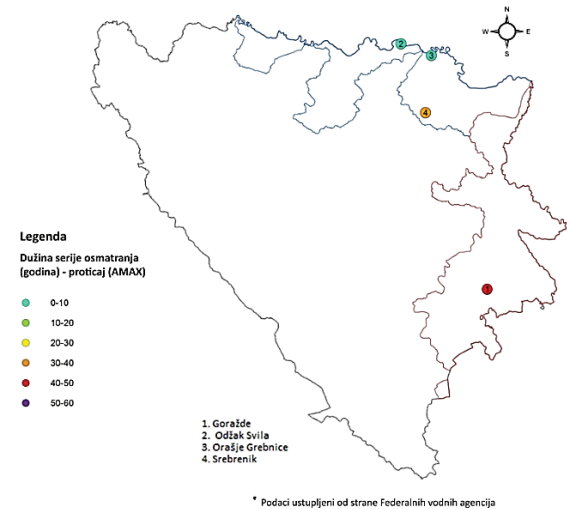
Slika 1. Lokacije stanica i dužina serije osmatranja na vodomjernim stanicama sliva rijeke Bosne u FBiH. Izvor [2]



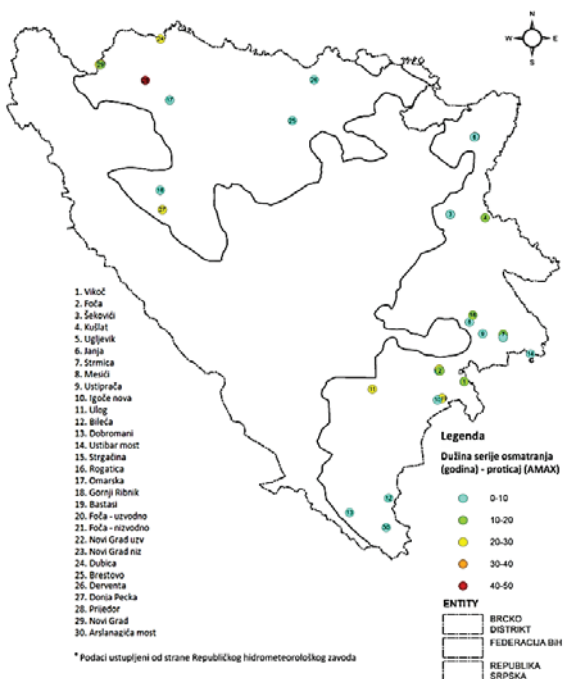
Slika 2. Lokacije stanica i dužina serije osmatranja na vodomjernim stanicama sliva rijeke Une u FBiH. Izvor [2]



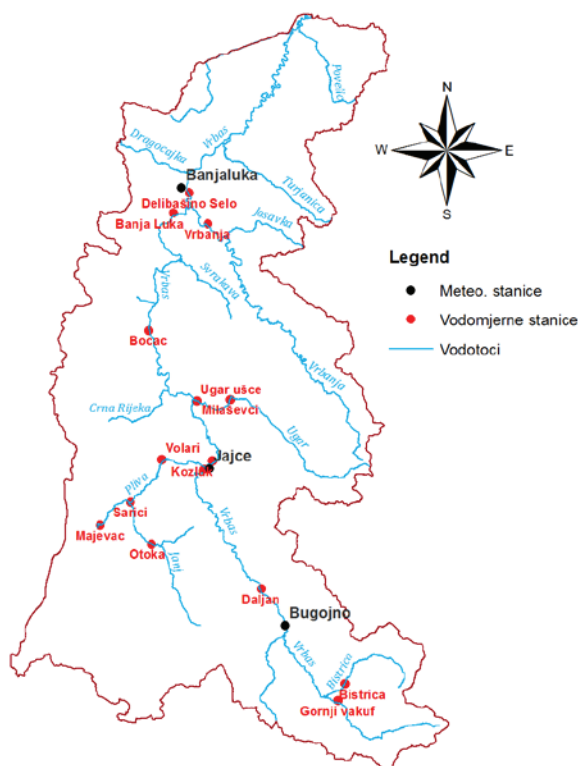
Slika 3. Lokacije stanica i dužina serije osmatranja na vodomjernim stanicama sliva Jadranskog mora u FBiH. Izvor [2]



Slika 4. Lokacije stanica i dužina serije osmatranja na vodomjernim stanicama neposrednog sliva Save i sliva Drine u FBiH. Izvor [2]



Slika 5. Lokacije stanica i dužina serije osmatranja na vodomjernim stanicama u RS. Izvor [2]



Slika 6. Lokacije stanica na slivu rijeke Vrbas u BiH.
Izvor [3]

Nakon procesa prikupljanja podataka, zaključilo se da je potrebno povećati broj hidroloških stanica, te da se na određenim vodotokovima utvrde nosioci, odnosno vlasnici podataka, kao što je npr. Elektroprivreda BiH, prikupe te obrade podaci i, u skladu s tim, ažuriraju hidrološke analize.

2. Hidrološke analize

Metode za hidrološke analize velikih voda pomoću kojih se dobijaju hidrološke podloge, biraju se u zavisnosti od raspoloživih podataka osmatranja, odnosno, stepena izučenosti područja. Prema tome se pristupi razlikuju za izučene, neizučene i djelimično izučene slivove.

2.1. Hidrološke studije u Bosni i Hercegovini

Hidrološka studija (HIS) površinskih voda Bosne i Hercegovine, u kojoj je obrađen temeljni niz 1961.-1990. godina za sliv rijeke

Une i rijeke Bosne izdate su 2009. godine, odnosno 2012 godine.

Obzirom na značajniji period sistematskih hidroloških registriranja vodostaja i mjerenja protoka u XXI vijeku – najmanje 10 godina, a sve sa glavnim ciljem provođenja hidroloških obrada koje će obuhvatiti i period 2001-2016. godina, a time i poplavu iz 2014. godine, 2017. godine ukazala se potreba za inoviranjem prethodno izrađenih hidroloških studija. 2017. godine izdata je Inovirana hidrološka studija za sliv rijeke Une u FBiH (za 11 vodomjernih stanica), a 2019. godine za sliv rijeke Bosne u FBiH (za 23 vodomjerne stanice), u kojem je analiziran period od 1961-1990. i 1991-2016. godine. U HISu se između ostalog, nalaze ocjene velikih voda različitih vjerovatnoća pojave u vidu maksimalnih protoka i talasa velikih voda i to u profilima hidroloških (vodomjernih) stanica.

2.2. Hidrološki izučeni slivovi

Izučeni slivovi su slivovi na kojima postoje sistematska osmatranja proticaja od preko 30 godina, mada se sve više usvaja da je to 50 godina, zbog klimatskih promena. Za ocjenu kvantila velikih voda na izučenim slivovima najčešće se primjenjuje statistička analiza maksimalnih godišnjih proticaja. Kao što je napomenuto, rezultati ovakvih analiza dostupni su u HIS-ovima izrađenim za pojedine slivove u BiH.

Iako je procedura proračuna dobro poznata, potrebno je istaknuti nekoliko pretpostavki/uslova za upotrebu metode (statističke analize) i potencijalnih problema koji se mogu pojaviti u praksi.

Jedan od problema je u načinu osmatranja, tj činjenici da se do proticaja dolazi indirektno (preko krive protoka, najčešće iz ekstrapolovanog dijela), na osnovu dnevnih (diskretnih) osmatranja, zbog čega stvarni pikovi valova

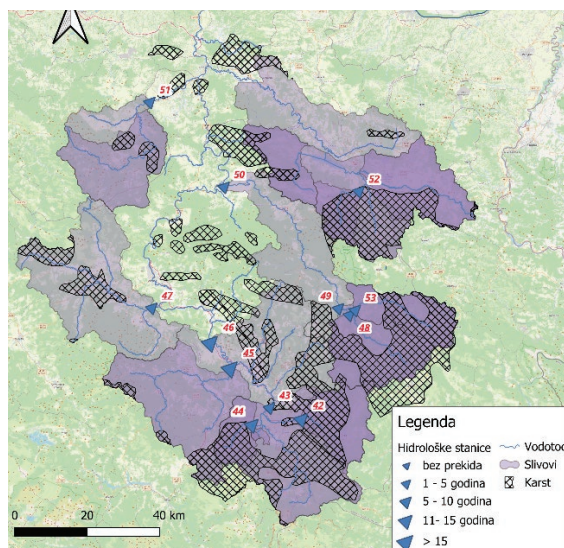
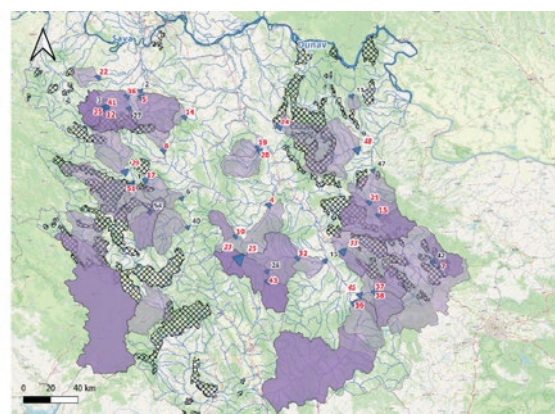
moгу ostati nezabilježeni. Ovaj problem je posebno izražen kod malih slivova sa kratkim vremenom koncentracije.

Sa teorijskog stanovišta, drugi „problemi“ ogledaju se u ispunjenju pretpostavki metode o stacionarnosti, slučajnosti, nezavisni maksimalnih godišnjih proticaja koji uz to trebaju biti i identično raspodjeljeni (potiču iz iste populacije). Ove pretpostavke omogućavaju predviđanje budućih događaja na osnovu onih koji su se ranije desili. Pojava nestacionarnosti, uzrokovana značajnom promjenom otjecanja na slivu (antropogeni utjecaji : urbanizacija, sječu šuma, izgradnja nasipa, brana i sl, prirodni utjecaji: klimatske promjene i sl) zahtijevaju drugačije pristupe pri definisanju velikih voda- u ovom slučaju jednostavna statistička obrada više nije adekvatna jer ranije događaji nisu adekvatni za opisivanje budućih.

Treći potencijalni problem je u različitim uzrocima nastanka velikih voda koje čine niz maksimalnih godišnjih proticaja. Zbog ovoga niz više nije identično raspodjeljen, pa govorimo o mješovitim populacijama. Razdvajanje događaja prema uzroku nastanka nije riješenje, posebno u slučajevima kratkih nizova.

Četvrti problem su nedovoljne dužine nizova na osnovu kojih se ne može odabrati adekvatna teorijska funkcija populacije, niti se mogu odrediti pouzdane statistike niza i kvantila velikih voda. Preporuke o maksimalnim ekstrapolacijama teorijskih funkcija idu od $2N$ do $3N$, što znači da bi se npr za pouzdanu ocjenu 200-godišnjeg kvantila trebalo raspolagati nizom od $N=70$ do 100 godina, što pri strožijem uslovu, nemamo niti na jednoj stanici u BiH. Upotreba različitih funkcija raspodjele, pri čemu svaka zadovoljava testove saglasnosti, može značajno utjecati na ocjenu kvantila, posebno sa krajeva raspodjele. Čak i primjena iste funkcije na istom nizu pri različitoj metodi

ocjene parametara može dati značajno različite vrijednosti kvantila. Pojedine zemlje su ovaj problem riješile preopruckama i pravilnicima u kojima su definisane funkcije i metode ocjene parametara. U Evropi se uglavnom koristi GEV raspodjela [4], u Rusiji P3 ili LN u zavisnosti od odnosa koeficijenta asimetrije i varijacije, ili Kritsky – Menkel za proizvoljni odnos ova dva koeficijenta [5]. Za slivove sa sjeverozapada SAD-a pokazano je da LP3, GEV te dvo- i troparametarska LN



Rb	STANICA	Rb	STANICA	Rb	STANICA	Rb	STANICA	Rb	STANICA
1	Arilje	12	Degurici	23	ManManasija	34	Tupalovce	45	Visoko
2	Arilje	13	Doljevac	24	Mercez	35	Usce	46	Dobrinje
3	Beli Brod	14	D.Satornj	25	Pastric	36	Valjevo	47	Merdani
4	Belo Polje	15	DonjaKam	26	Pepeljevac	37	Visocka Rzana	48	Biostica
5	Bivolje	16	Guca	27	Pozega	38	Visoka	49	Olovo
6	Bogovadj	17	Ivanjica	28	Prokuplje	39	Vlasotnice	50	Zavidovici
7	Bogutova	18	Jagodina	29	Radikine Bare	40	Vratarnica	51	Kalosevici
8	Brajicevci	19	Jagodina	30	Sedlare	41	Zajecar	52	D. Visca
9	Brdjani	20	Knjazevac	31	Slovac	42	Miljacka	53	Olov. Luke
10	Brus	21	Koceljeva	32	Svodje Luznica	43	Reljevo		
11	Crnajka	22	Magovo	33	Svodje Vlasina	44	Blazuj		

Slika 7. Prikaz analiziranih stanica i pripadajućih slivova uz prikaz karsta: sliv Bosne (gore), slivovi iz Srbije (dole), crveno označene stanice sa prekidima

raspodjela dobro opisuju uzorke velikih voda, dok je LP3 zbog fleksibilnosti raspodjele usvojena u Biletenu 17B [6] i 17C [7]. U BiH ne postoje preporuke za primjenu teorijskih funkcija niti metode ocjene parametara. Parametri funkcija se uobičajeno određuju primjenom konvencionalnih momenata koji su osjetljivi na pojavu ekstremnih vrijednosti (izuzetaka), a od funkcija raspodjele se koriste 2 parametarske (log- normalna i Gumbelova) te troparametarske (log-Pearson 3 - LP3 i Pearson 3 - P3).

Obzirom da su u BiH na većini stanica mjerenja iz perioda 1961-1990 bez prekida te činjenice da se i danas rezultati ovih analiza uzimaju u obzir prilikom projektovanja, upoređene su vrijednosti kvantila iz ovog perioda u odnosu na ukupni dostupni niz na svim stanicama na raspolaganju iz sliva rijeke Bosne i Srbije (53 stanice) – slika 7. Proračun je proveden prema procedurama iz Biltena 17C koji podrazumijeva upotrebu LP3 funkcije sa parametrima određenim metodom očekivanih momenata (Expected Moments Algorithm EMA), koji je istovjetan metodi konvencionalnih momenata u slučaju cjelovitih serija bez donjih izuzetaka (Potentially Influential Low Flows- PILF) i historijskih podataka. Proračun je proveden u HEC-SSP 2.2 softveru. U slučajevima prekida primjenjeni su pragovi percepcije kako bi se dao rang pretpostavljenih vrijednosti proticaja u periodima prekida. Rezultati su prikazani u vidu procentualnih odstupanja na box-plot dijagramu za razmatrane povratne perioda 50, 100, 200 i 500 godina (slika 8.)

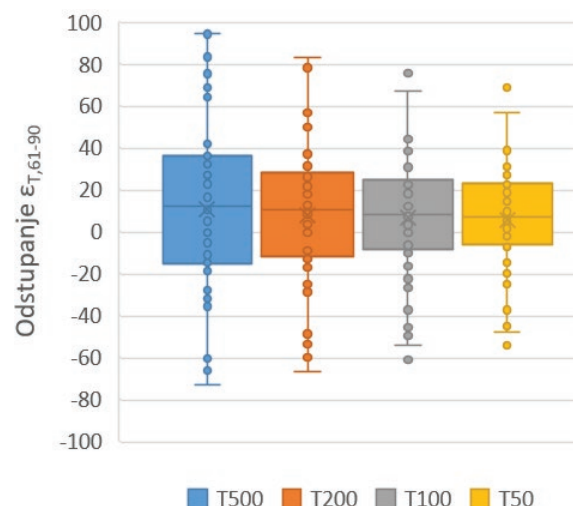
$$\varepsilon_{T,61-90} = \frac{Q_T^{B17C,61-90} - Q_T^{B17C}}{Q_T^{B17C}} \cdot 100 \quad (1)$$

$$\frac{Q_T^{B17C,61-90} - Q_T^{B17C}}{Q_T^{B17C}}$$

gdje su

kvantili određeni prema B17C uz zadavanje vrednosti praga u periodima prekida mjerenja.

Sa slike 8. može se uočiti da se odstupanja opadaju sa smanjenjem povratnog perioda, ali su značajna za sve razmatrane povratne periode. Za T = 500 godina procjenjivanja su od blizu 100 posto (stanica 33 Svođe Vlasina) dok su podcjenjene vrijednosti do 70 posto (stanica 6 Bogovađa).



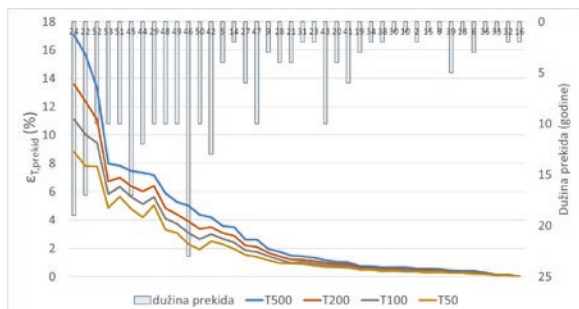
Slika 8. Uticaj dužine niza na vrijednosti kvantila određenih prema B17C

Za utjecaj prekida odabrano je 40 stanica (crveno označene na slici 7). Dužine nizova se kreću od 30 do 62 godine, a prekidi traju od 1 do 23 godine. Proračun kvantila je proveden prema B17C, a rezultati su prikazani na slici 9. na kojoj su odstupanja $\varepsilon_{T,prekid}$ uređena od najveće ka najmanjoj, dok je s gornje strane dijagrama prikaza dužina prekida.

$$\varepsilon_{T,prekid} = \frac{Q_T^{zanemaren prekid} - Q_T^{B17C}}{Q_T^{B17C}} \cdot 100 \quad (2)$$

gdje je
 $Q_T^{zanemaren prekid}$ kvantil određen prema B17C uz zanemarenje prekida u mjerenjima.

Može se primjetiti da su najveća odstupanja u rangovima rjeđih događaja (većih povratnih perioda) i da rastu sa povećanjem dužine prekida za sve povratne periode (slika 9). Izuzetak je stanica 46 Dobrinje sa najvećim prekidom od 23 godine, o kojoj će u nastavku biti ponovo riječi. Svi kvantili određeni uz zanemarenje prekida manji su u odnosu na one sa pragovima, iako odstupanja uglavnom nisu



Slika 9. Utjecaj zanemarenja prekida u mjerenjima na vrijednosti kvantila velikih voda

Obzirom na zanemariv uticaj prekida, dalje je analizirano kako izbor funkcije i načina određivanja parametara te dužine niza utiče na vrijednost kvantila i širinu intervala povjerenja. Za ovu analizu odabrano je 18 stanica (obilježениh italic na slici 7) sa prekidima od 5 i više godina za koje test za otkrivanje izuzetaka (Multiple Grubbs-Beck test MGBT) nije detektovao PILF. Pored B17C korištena je i GEV funkcija čiji su parametri određeni metodom Lmomenata, a koja se često koristi u analizi velikih voda i regionalnim analizama.

Utjecaj izbora funkcije izvršen je za puni period i za period 1961-1990, a iskazan je preko parametra $\varepsilon_{T,funkcija}$ definisanog kao:

$$\text{parametra } \varepsilon_{T,funkcija} \text{ definisanog kao:}$$

$$\varepsilon_{T,funkcija} = \frac{Q_T^{GEV} - Q_T^{B17C}}{Q_T^{B17C}} \cdot 100 \quad (3)$$

Prikaz ove vrijednosti dat je na slici 10. za cio period (lijevo) i period 1961-1990 (desno). Zaključuje se da GEV uglavnom daje nešto veće vrijednosti kada se posmatra cio period. Razlike u vrijednostima kvantila se povećavaju sa povećanjem povratnog perioda, dok izbor perioda ne pravi značajniju razliku osim što u periodu 1961-1990 u pojedinim slučajevima GEV daje manje vrijednosti u odnosu na B17C.

Dalje su analizirane granice 90% intervala povjerenja za kvantile određene prema B17C i to za puni niz i niz 1961-1990. Vrijednosti su iskazane kao:

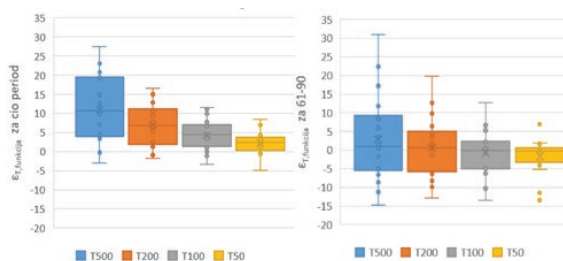
$$\varepsilon_{GIP,T} = \frac{Q_{GIP,T}^{61-90} - Q_{GIP,T}^{cio}}{Q_{GIP,T}^{cio}} \cdot 100 \quad (4)$$

$$\varepsilon_{DIP,T} = \frac{Q_{DIP,T}^{61-90} - Q_{DIP,T}^{cio}}{Q_{DIP,T}^{cio}} \cdot 100 \quad (5)$$

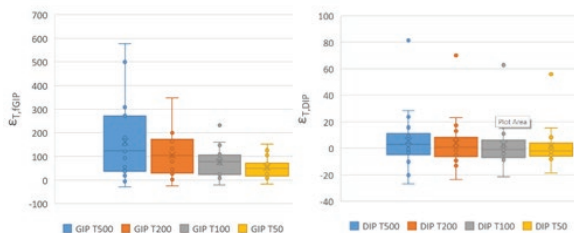
gdje su:

$Q_{GIP,T}$ i $Q_{DIP,T}$ gornje i donje granice 90% intervala povjerenja za povratni period T, pri čemu oznaka u eksponentu označava da li se radi o ukupnom period (cio) ili periodu 1961-1990 (61-90).

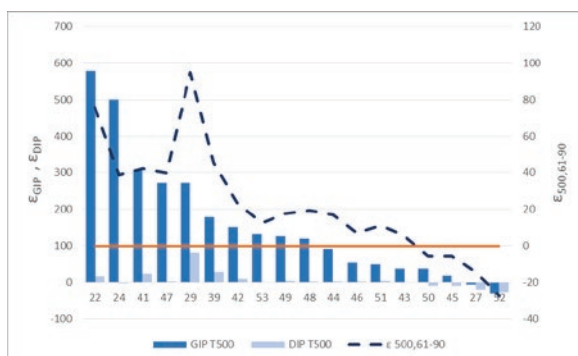
Ove vrijednosti prikazane su u vidu box-plot dijagrama za sve povratne periode (slika 11.), dok je za T =500 dat kombinovani grafik - vrijednosti $\varepsilon_{GIP,T}$ i $\varepsilon_{DIP,T}$ prikazane su u vidu barplota dok su odstupanja u kvantilima prikazana isprekidanom linijom (očitna na sekundarnoj osi). Narandžasta linija označava vrijednost $\varepsilon_{500,61-90} = 0$ (slika 12.). Uočava se da su razlike gornje granice intervala povjerenja veće u odnosu na donju (širi interval), te da je veći utjecaj perioda osmatranja upravo na gornju granicu intervala povjerenja. Obzirom da je pouzdanost statistika niza, a time i kvantila, porporcionalna dužini niza, očekivao se da će intervali povjerenja biti širi na kraćim nizovima. Na većini stanica razlike u GIP-u su preko 100 posto (10 od 18 stanica), iako razlike u kvantilima ($\varepsilon_{500,61-90}$) u pojedinim slučajevima ne prelaze 20 %.



Slika 10. Uticaj izbora funkcije na vrijednosti kvantila za cio period (lijevo) i 1961-1990 (desno)

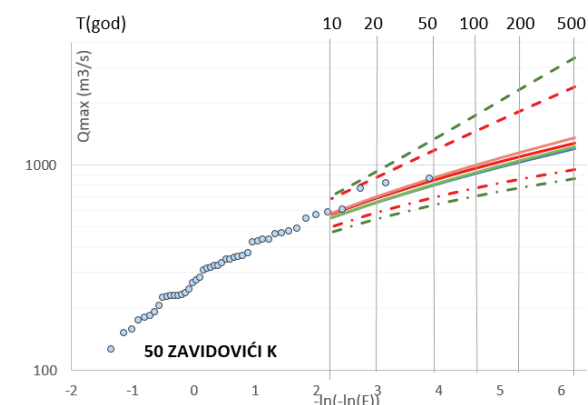
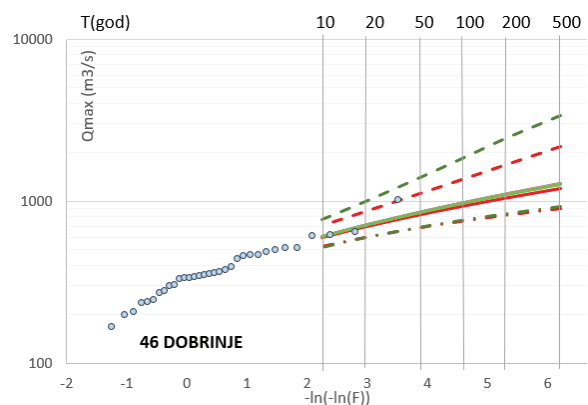
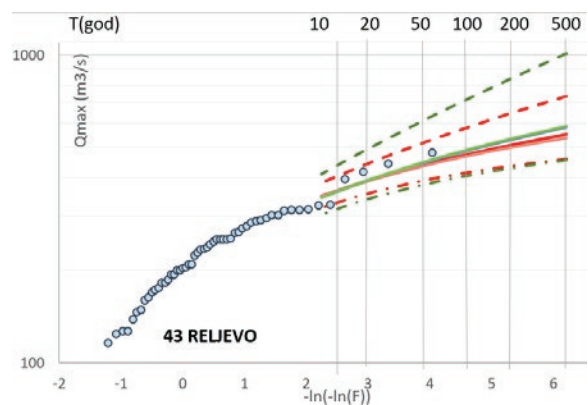
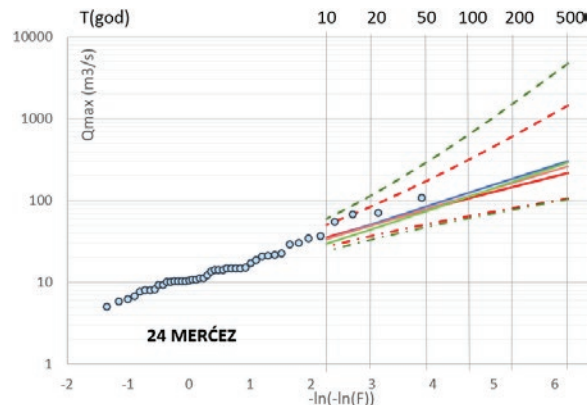
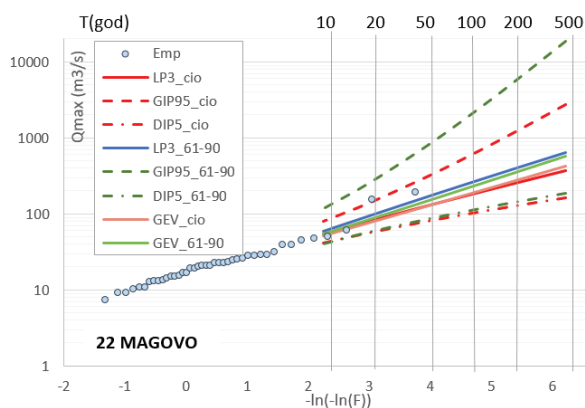


Slika 11. Procentualna razlika u granicama intervala povjerenja - gornjeg (GIP) i donjeg (DIP) perioda 1961-1990 u odnosu na ukupan period osmatranja



Slika 12. Procentualna razlika u GIP i DIP sa prikazom razlika osnovnog kvantila za period 1961-1990 u odnosu na cio period, T = 500

Za nekoliko stanica prikazane su empirijska (emp) i teorijske funkcije (GEV, B17C) za puni i period 1961-1990 sa granicama intervala povjerenja (slika 13). Birane su stanice 22 (Magovo) i 24 (Merčez) kao stanice sa najvećim odstupanjima u granicama gornjih intervala povjerenja, testanice 43 (Reljevo), 46 (Dobrinje) i 50 (Zavidovići K) kao reprezentivne stanice sa najmanjim odstupanjima u osnovom kvantilu za dva perioda, a značajnim razlikama u GIP-u.



Slika 13. Utjecaj dužine niza osmatranja na širinu 90% intervala povjerenja sa prikazom teorijske funkcije po B17C i GEV za cio period i period 61-90

2.3. Hidrološki neizučeni slivovi

U neizučene slivove spadaju svi slivovi u kojima ne postoje mjerenja ili nisu dovoljne dužine za statističku analizu. Pri tome, postoji i 'međuklasa' dužine osmatranja od preko 10 godina do ispunjenja uslova za statističku analizu, koja se tretira kao delimično izučeni slivovi, kada se uzorak formira metodom parcijalnih serija ili pikova i radi odgovarajuća statistička analiza. Za ocjene velikih voda u slučajevima kada nema osmatranja ili su trajanja do 10 godina, mogu se koristiti neke od jednostavnih metoda, kada se radi o malim površinama slivova, kao što je to urađeno u FHRMP [8], ali najčešće se koriste metode regionalne analize.

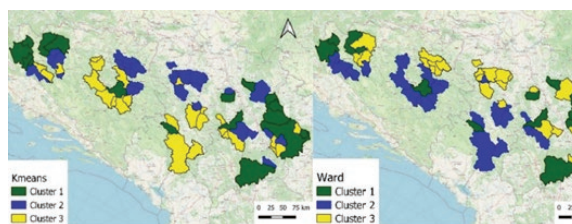
Prvi zadatak u regionalnoj analizi je odabir stanica koje će činiti region na osnovu kojeg će se informacije dalje prenijeti na neizučeni sliv. Prenos se može izvršiti primjenom regresionih zavisnosti pri čemu se za nezavisne varijable biraju neke od morfoloških karakteristika sliva (najčešće površina), uspostavljanjem anvelopnih krivih, krivih ili mapa specifičnih otjecanja, indeksnom metodom itd. Bez obzira koji pristup je odabran, potrebno je izdvojiti stanice koje će formirati homogeni region. Region često čine stanice istog osnovnog sliva mada je pokazano da one često ne daju homogene regione. Drugi način je odabir stanica koje najviše „liče“ neizučenom slivu, u smislu morfoloških osobina, padavinskom režimu i sl. Nakon izbora atributa sličnosti bira se metrika kojom će se brojčano izraziti sličnost među slivovima, a zatim i algoritam za formiranje regiona (algoritam klasteriranja). Uobičajeni algoritmi klasteriranja su hijerarhijski (npr Wardov algoritam) i particijski (npr k-means algoritam).

Za potrebe regionalnih analiza velikih voda odabrano je 74 stanice od čega u Srbiji 42 i Bosni 32 (sliv Bosne 17 i sliv Une 15) (slika 14.) [9]. Za formiranje regiona korišteni su subjek-

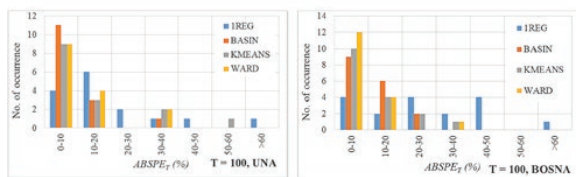
tivni pristup (sve stanice 1 region 1REG, prema pripadnosti osnovnom/državi slivu BOSNA, UNA, SRB). Euklidska udaljenost određena na osnovu morfoloških atributa (površina sliva, srednja nadmorska visina i prosječni nagib sliva) a hijerarhijski (Ward) i particijski (k-means) algoritam klasteriranja poslužili su za definisanje regiona (slika 15). Prenos informacija izvršen je indeksnom metodom, pri čemu je za teorijsku funkciju birana GEV raspodjela sa parametrima određenim L-momentima. Pokazano je da na rezultate značajno utiču dužine nizova i veličina regiona. Izbor najbolje metode regionalizacije zavisio je od slučaja, npr za stanice sliva rijeke Une regionalizacija po pripadnosti osnovnom slivu dala je najbolje rezultate, dok to nije slučaj kod stanica sliva rijeke Bosne za koju je Ward najbolji izbor (slika 16.). Gledajući sveukupno, za klasteriranje je odabran Wardov algoritam kao najbolji, dok regionalizacija koja uzima sve stanice daje najlošije rezultate za oba sliva u BiH (slika 16.) i slivove u Srbiji.



Slika 14. Slivovi koji su razmatrani u regionalnoj analizi (Izvor [9])



Slika 15. Regioni formirani kmeans (lijevo) i Wardovim algoritmom (desno) (Izvor [9])



Slika 16. Greške u 100-godišnjim kvantilima dobivenim navedenim metodama regionalizacije u slivu rijeke Une (lijevo) i Bosne (desno) (Izvor [9])

3. Diskusija

Kvalitet i obim ulaznih podataka za izradu mapa opasnosti u pogledu hidroloških podloga za teritoriju BiH, razmatran je u radu sa aspekta ulaznih podataka o protocima i primjenjivosti metoda za izučene i neizučene slivove u takvim okolnostima.

Na izučenim slivovima, što se na prvi pogled smatra najpovoljnijim slučajem, upotrebljavaju se metode matematske statistike na nizovima formiranim uglavnom metodom godišnjih ekstrema. Upravo je metoda godišnjih ekstrema korištena u postojećim analizama provedenim na slivovima u BiH (HIS-ovi) u kojima su sistematizovani podaci o karakterističnim proticajima.

Iako je procedura proračuna poznata, uočavaju se određeni izazovi u primjeni statističke analize koji se ogledaju u:

- ▶ uslovima koje niz mora da zadovolji da bi se uopšte analizirao na ovaj način kao prost slučajni uzorak (nezavisnost, homogenost, stacionarnost, identična raspodjela);
- ▶ prikupljanju podataka (jednokratna osmatranja, ekstrapolacij krivih protoka, kratki nizovi itd).

Statističkim testovima pokazano je da nizovi velikih voda podslivova rijeke Bosne zadovoljavaju uslove, međutim problem u načinu i dužini mjerenja je prisutan. Na stanicama iz sliva rijeke Bosne i Srbije provedena je

statistička analiza na nizovima formiranim metodom godišnjih ekstrema sa ciljem određivanja:

- ▶ efekta zanemarenja prekida u osmatranjima na vrijednosti kvantila,
- ▶ razlika u kvantilima i širinama intervala povjerenja prilikom analize različitih perioda osmatranja,
- ▶ uticaja izbora funkcije raspodjele i metode ocjene parametara.

Pokazano je da zanemarenje prekida u osmatranjima ne utiče značajno na kvantile određene prema proceduri iz B17C. Izbor funkcije i metode ocjene parametara također nije presudan na rezultat. Utjecaj dužine osmatranja na donju granicu intervala povjerenja je beznačajan, međutim, gornje granice intervala povjerenja koje su od primarnog interesa u analizi poplava značajno odstupaju. Kraći periodi (1961-1990) daju i nekoliko puta veće vrijednosti od punog niza, čak i u slučajevima kada karakteristični kvantili, bez obzira na izbor funkcije i metode određivanja parametara, daju praktično jednake vrijednosti.

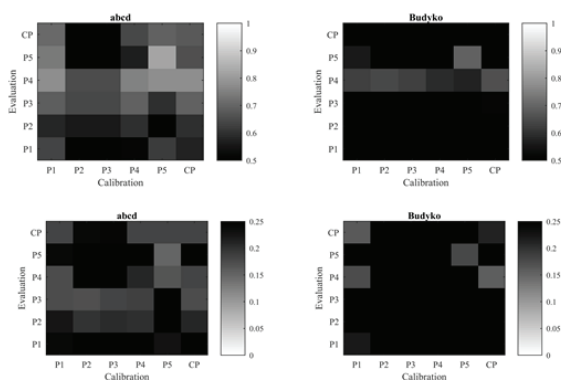
U slučajevima neizučenih profila najčešće se primjenjuju regionalne analize. U literaturi je predloženo mnogo metoda regionalizacija, ali nema općeprihvaćene metode koja garantuje dobre rezultate. U radu je pokazano da na različitim slivovima različite metode regionalizacije daju dobre rezultate. Ono što je pokazano na svim slivovima u radu je da bezkriterijumska regionalizacija (svi slivovi jedan region) nije dobro rješenje ni na jednom slivu.

Pored regionalnih analiza, na neizučenim slivovima sve se češće koriste i složeni konceptualni hidrološki modeli. Parametri modela usvajaju se na osnovu analize sliva uz usvajanje literaturnih ili vrijednosti sa obližnjih slivova. Međutim, u literaturnim preporukama često se ne nalaze vrijednosti parametara

karakteristične za pojedine slučajeve, npr za karst koji na ovim prostorima dominira [10]. Takođe, parametrizacija modela nosi sa sobom veliku neizvjesnost čak i kada imamo osmatranja za kalibraciju. Pri regionalizaciji parametara modela postižu se rezultati koji se teško validiraju te neizvjesnost i potencijalna greška koju unose u izradu mapa opasnosti i rizika postaje još veća. Zbog ovoga se preporučuje uspostava relativno kratkih mjerenja padavina i otjecanja (2-3 godine) koji mogu poslužiti za solidnu kalibraciju modela, a time i pouzdanije ocjene velikih voda, što Jovanović [11] preporučuje upravo za neizučene slivove, obzirom da metode koje se primjenjuju kod njih, mogu dati samo orijentacione ocjene računskih velikih voda, a merenja mogu poslužiti i za kontrolu rezultata drugih metoda. Osmotreni vodostaji za vrijeme velikih voda mogu takođe pomoći za validaciju modela neizučenih slivova, jer se oni obično rade paralelno sa hidrauličkim preko koga se na ovaj način posredno može izvršiti kalibracija.

Procene velikih voda po navedenim metodama moguće je provesti primjenom softverskih paketa. Za statističku analizu koristi se slobodno dostupan USACE HEC-SSP u kojem je za noviju verziju, osim procedura iz B17C moguće primjeniti i druge teorijske funkcije (npr GEV) i metode ocjene parametara (npr Lmomenti). Ono što je izuzetno korisno je mogućnost uključivanja podataka o historijskim velikim vodama ili vrijednost protoka kroz pragove percepcije. Ovim bi se dala mogućnost proširenja nizova na period prije uspostave krivih protoka, tj za period u kojem postoje podaci o vodostajima. Takođe je moguće modelirati i cijele poplavne talase. Što se tiče softverskih paketa sa kompleksnijim, konceptualnim hidrološkim modelima, u BiH se koriste uglavnom slobodno dostupni HEC-HMS i HBV light, te komercijalni HBV i MIKE softveri. Međutim za njihovu adekvatnu kalibraciju potrebni su podaci o proticajima i vodostajima sitnije vremenske rezolucije

(barem satna) što nerijetko nedostaje, a poseban izazov ovde predstavljaju ulazni podaci o padavinama (i temperaturama). Pored velikog broja potrebnih ulaznih podataka, problem predstavlja i veliki broj parametara koji se određuju u procesu uglavnom ručne kalibracije. Da bi se postigla dovoljna efikasnost modela, parametri mogu uzimati različite vrijednosti u svakom pokušaju kalibracije, rijetko bliske realnim fizičkim vrijednostima. Takođe, mjere efikasnosti koje se najčešće primjenjuju u praksi ne garantuju da je model u stanju da reprodukuje neke važne hidrološke karakteristike kao npr unutargodišnja raspodjela srednjih mjesečni proticaja. Na slici 17 prikazani su rezultati efikasnosti modela u kros-kalibraciji i validaciji prema klasičnoj mjeri Nash-Sutcliffe koeficijenta efikasnost (NSE) i odstupanja unutargodišnje raspodjele protoka od osmotrenih. Napominje se da su ovo rezultati ispitivanja sprovedenih na mjesečnim modelima koji imaju znatno manje parametara od dnevnih a naročito satnih. Primjećuje se da iako NSE uglavnom ima zadovoljavajuću vrijednost iznad 0.5, greška u reprodukciji unutargodišnje raspodjele je uglavnom mnogo veća.



Slika 17. Efikasnost modela u kros-kalibraciji na cijelom periodu osmatranja (PC) i pet pod-perioda (P1-P5) mjerenja sa NSE (gore) i greškom unutargodišnje raspodjele (dole) [12]

Važno je napomenuti da se cijeli rad bavi riječnim, odnosno fluvijalnim poplavama, što je bilo karakteristično i za zemlje EU u prvom ciklusu sprovođenja Direktive o poplavama. Nakon drugog ciklusa, utvrđeno je da je manje

od polovine zemalja izradilo i karte opasnosti i karte rizika od pluvijalnih (kišnih) poplava, te da bi se u narednom ciklusu trebalo više posvetiti razmatranju brzih, bujičnih i kišnih poplava, kao i opasnosti koje proizilaze od višestrukih procesa poplava (npr. kombinacija kišnih i riječnih poplava) ili od višestrukih elementarnih nepogoda [13].

4. Zaključak

Izrada mapa opasnosti i mapa rizika od poplava propisana je Evropskom direktivom o poplavama kao jednim dijelom ciklusa upravljanja poplavnim rizikom. U BiH se posljednjih godina ovom zadatku posvećuje velika pažnja. Na osnovu razmatranja u radu posvećenih dobijanju hidroloških podloga za izradu mapa opasnosti od poplava, može se zaključiti da su, u skladu i sa nalazima za zemlje EU, glavni izazovi u BiH:

1. Partnerstvo – Pored udruživanja snaga institucija, stručnjaka i naučnika iz različitih disciplina posvećenih najprije prikupljanju, obradi i objavljivanju hidroloških i meteoroloških podataka, nužna je i efikasnija integracija podataka i njihova veća dostupnost. U narednom periodu fokus će biti na podacima o padavinama, zbog potencijalnog analiziranja brzih, bujičnih i kišnih poplava.
2. Znanje – Sa povećanjem stepena složenosti različitih modela koji se koriste u modeliranju opasnosti od poplava, traže se specijalizovana znanja. Kada su hidrološke podloge u pitanju, to je prvenstveno u pogledu uticaja klimatskih promjena, zatim neizvjesnosti u modeliranju kada je kvalitet ulaznih podataka nizak, kao i kod hidroloških modela finih razmjera koji su računarski intenzivni i zahtijevaju detaljnije podatke ili poznavanje metoda da se do njih dođe.

3. Inovacije – Imajući u vidu stanje osmotrenih (historijskih) hidroloških i meteoroloških podataka, može se pokušati procjena različitih hidroloških parametara primjenom modela mašinskog učenja na bazi dostupnih podataka iz drugih izvora. Za aktuelne podatke, zanimljivi su satelitski izvori koji se mogu naći na različitim platformama, a u svijetu se sve više koriste i 'usluge' građanske nauke (Citizen Science) i lokalnih zajednica, što sve zajedno može biti isprobano na teritoriji BiH.

Bavljenje navedenim izazovima zahtijeva koordinirane napore unutar BiH na poboljšanje stanja podataka, povećanju dostupnosti podataka visoke rezolucije i ulaganju u napredne tehnike modeliranja koje obuhvataju i uslove buduće klime.

Izjava

U radu su korišćena dokumenta nastala tokom sprovođenja projekta WB12-BIH-ENV-04C1 koji su vodili direktor g-din Michael Jacobsen i Dr. Dalila Jabučar, voditeljica tima. Projekat je finansiran iz EU IPA II programa preko Evropske investicione banke. Izrada ovog rada je dijelom finansirana iz sredstava Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, ugovor br. 451-03-65/2024-03/200095.

LITERATURA

- [1] 'Directive 2007/60 – Assessment and management of flood risks – EU monitor'. Accessed: Nov. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vitgbgimtmez>
- [2] 'Početni izveštaj projekta izrade mapa opasnosti i mapa rizika od poplava –FHRMP'. Western Balkans Investment Framework – WBIF, 2017.
- [3] 'Izrada mapa opasnosti i mapa rizika od poplava na slivu rijeke Vrbas u BiH'. UNDP BiH i Zavod za Vodoprivredu d.o.o. Bijeljina, 2017.
- [4] A. Castellarin et al., 'Review of applied-statistical methods for flood-frequency analysis in Europe', Review of Applied-statistical Methods for Flood-frequency Analysis in Europe, Jan. 2012.
- [5] '1. СП 33-101-2003 Определение Основных Расчетных Гидрологических Характеристик.'
- [6] Geological Survey (U.S.), Ed., Guidelines for determining flood flow frequency. Bulletin #17B of the Hydrology Subcommittee, Editorial corrections Mar. 1982. in Bulletin of the Hydrology Committee, no. 17B. Reston, VA: U.S. Dept. of the Interior, Geological Survey, Office of Water Data Coordination, 1982.
- [7] J. England F. Jr et al., 'Bulletin 17C Guidelines for Determining Flood Flow Frequency, Chapter 5 of Section B, Surface Water, Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation', U.S. Geological Survey, Reston, VA, USA, Techniques and Methods, 2019.
- [8] B. Blagojevic, S. Kovačević, B. Nedić, N. Lukovac, and M. Mujčić, 'GIS Based Flood Flow Assessment in Small Catchments for Flood Mapping in Bosnia and Herzegovina', Ovidius University Annals of Constanta – Series Civil Engineering, vol. 20, pp. 111-118, Dec. 2018, doi: 10.2478/ouacsce-2018-0013.
- [9] A. Mulaomerović-Šeta, B. Blagojević, Š. Imširović, and B. Nedić, 'Assessment of Regional Analyses Methods for Spatial Interpolation of Flood Quantiles in the Basins of Bosnia and Herzegovina and Serbia', in Advanced Technologies, Systems, and Applications VI, N. Ademović, E. Mujčić, Z. Akšamija, J. Kevrić, S. Avdaković, and I. Volić, Eds., in Lecture Notes in Networks and Systems. Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 430–456. doi: 10.1007/978-3-030-90055-7_35.
- [10] M. Mujčić and Mulaomerović-Šeta, 'Kalibracija i validacija modela epizoda u karstnom slivu', Vodoprivreda.
- [11] С. Јовановић, Хидрологија. Техничар 6. Грађевински приручник. Грађевинска књига, Београд. Грађевинска књига, Београд., 1989.
- [12] Ž. Topalović, A. Todorović, and J. Plavšić, 'c', Hydrological Sciences Journal, vol. 65, no. 6, pp. 928-950, Apr. 2020, doi: 10.1080/02626667.2020.1725238.
- [13] M. Marin Ferrer, K. Poljanšek, T. De Groeve, I. Clark, and European Commission, Eds., Science for disaster risk management 2017: knowing better and losing less. Luxembourg: Publications Office, 2017. doi: 10.2788/842809.