

## Statistička analiza velikih voda: Kalendarska i hidrološka godina

Aleksandar Bogojević<sup>1</sup>  
Nikola Đenić<sup>2</sup>  
Borislava Blagojević<sup>3</sup>

APSTRAKT: Statistička analiza velikih voda nizova formiranih metodom godišnjih maksimuma je uobičajen pristup u inženjerskoj praksi. U radu se vrši analiza na 17 hidroloških stanica sa uglavnom potpunim nizom osmatranja, koji su nakon sprovedene analize podobnosti, dužine od 33 do 87 godina. Opseg površine sliva je od 96 do 9396 km<sup>2</sup>. Statistička analiza vršena je za kalendarsku godinu i dve hidrološke godine 1.10.-30.09. i 1.11.-31.10. Iako je početak hidrološke godine u Srbiji definisan 1.11. u praksi je za analizu velikih voda ustaljen pristup korišćenja kalendarske godine. Cilj rada je da se na osnovu rezultata analize primenom kalendarske i hidrološke godine po standardu u SAD i Srbiji, ispituju razlike ocene kvantila protoka na svim stanicama iz obuhvaćenog uzorka. Nedavno su plasirane nove preporuke za ocenu velikih voda u SAD – Bilten17C koji počiva na hidrološkoj godini (1.10-30.09), a prati ga softverski paket HEC-SSP. Da bi se softver iskoristio za nizove iz kalendarske i srpske hidrološke godine (1.11-31.10), potrebno je modifikovati podatke za unos. Kao mera saglasnosti rezultata iz hidroloških godina sa referentnom kalendarskom, korišćena je procentualna greška ocene kvantila. Rezultati ukazuju da razlike ocene kvantila zavise od nekoliko faktora: Broja otkrivenih donjih izuzetaka, a u većoj meri, od promene koeficijenta asimetrije razmatranog niza, kao i da se slivovi površine veće i manje od 1000 km<sup>2</sup>, drugačije ponašaju pri prelasku sa kalendarske na hidrološku godinu.

Ključne reči: niz godišnjih maksimuma, kvantili velikih voda, hidrološka godina, kalendarska godina, Bilten17C

## Flood frequency analysis: Calendar and water year

ABSTRACT: Flood frequency analysis on the datasets created by the method of annual maxima is a common approach in engineering practice. The research paper shows the analysis performed on 17 hydrological stations, with mostly complete datasets of observations, from 33 to 87 years long after the statistical analysis suitability was tested. The basin area varies from 96 to 9396 km<sup>2</sup>. Statistical analysis was performed for both the calendar and two water years 1.10-30.09. and 1.11-31.10. Although the beginning of the water year in Serbia is defined on 1.11, in practice, the approach of using a calendar year for the flood frequency analysis has been established. The aim of this paper is to examine the difference when assessing the flood quantiles from the calendar and water year defined by the standard in the USA and Serbia. Recently, new recommendations were published for flood frequency assessment in the USA - Bulletin17C, based on the water year (1.10-30.09) and accompanied by the HEC-SSP software package. To use the software for the datasets from the calendar and Serbian water year (1.11-31.10), some input data modifications are required. The percentage error was used as a measure of the difference of the flood quantiles estimated from the both water year datasets with the reference, calendar year. The results indicate that the differences in the quantile estimates depend on several factors: The number of low outliers detected, and mostly on the change in a skewness coefficient of the considered datasets, while the basins with the area of more and less than 1000 km<sup>2</sup> behave differently when calendar year is changed for water one.

Keywords: annual maxima dataset, flood quantiles, water year, calendar year, Bulletin17C

---

<sup>1</sup> Aleksandar Bogojević, student OAS, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, [aca.bogojevic@gmail.com](mailto:aca.bogojevic@gmail.com)

<sup>2</sup> Nikola Đenić, student OAS, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, [djenkatro@gmail.com](mailto:djenkatro@gmail.com)

<sup>3</sup> Doc. dr Borislava Blagojević, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, [borislava.blagojevic@gaf.ni.ac.rs](mailto:borislava.blagojevic@gaf.ni.ac.rs)

## 1 Uvod

Analiza velikih voda od presudne je važnosti pri planiranju, projektovanju, izgradnji i održavanju vodoprivrednih sistema i mnogih hidrotehničkih objekata. Imajući u vidu složenost ovog zadatka, metode za analizu velikih voda stalno se razmatraju, doraduju i usavršavaju. Računski precenjene velike vode dovode do predimenzionisanih objekata i neracionalnog utroška resursa. Lošija varijanta jesu potcenjene velike vode koje mogu dovesti do katastrofalnih poplava, rušenja infrastrukture i građevina, pri čemu su materijalne štete velike a ljudski životi u opasnosti.

Izbor metoda u analizi velikih voda zavisi od stepena izučenosti lokacije i obima raspoloživih podataka (Jovanović, 1989). U inženjerskoj praksi, uobičajen pristup u izučenim profilima počiva na statističkoj analizi (SA) osmotrenih protoka u višegodišnjem periodu. Niz osmotrenih protoka za analizu može se formirati metodom godišnjih maksimuma (GM), čija je vodeća prednost što ne zahteva obimnu količinu podataka u poređenju sa metodom prekoračenja preko praga. Formirani nizovi metodom GM trebalo bi da budu duži od 30 godina kako bi uzorak bio reprezentativan. Dužina niza (uzorka) jeste ograničavajući faktor u SA, ali se pri formiranju ulaznih nizova postavlja i sledeće pitanje: Da li je za početak godine ispravno uzeti 1. januar ili neki drugi datum?

Hidrološka godina definiše se kao *'neprekidno dvanaestomesečno razdoblje odabrano tako da su sve promene na njegovom početku i kraju minimalne'* (Struna, 2021), što se fizički odnosi na zalihu vode u rečnoj mreži (Prohaska, 2009). Aktivno korišćenje hidrološke ili vodne godine, počelo je 1911. godine u američkoj agenciji USGS (Hirsh and Fischer, 2014). Početak hidrološke godine varira u zavisnosti od geografskog područja čija klima nameće uslove generisanja oticaja sa slivova. U Srbiji je tako, početak hidrološke godine definisan 1. novembra (Jovanović, 1989), u Norveškoj pak 1. septembra, zatim u SAD-u i Španiji počinje 1. oktobra, dok se u Australiji početak hidrološke godine računa od 1. jula. Svrha hidrološke godine jeste obuhvatanje "velikih" događaja na osnovu vremena početka javljanja i time, beleženje svih varijacija protoka u razmatranom periodu od 12 meseci, koje obuhvataju cele poplavne talase. Kada je reč o statističkoj analizi velikih voda u Srbiji, ustaljen je pristup korišćenja kalendarske godine.

Cilj ovog istraživanja je utvrđivanje razlike u oceni kvantila velikih voda različitih povratnih perioda, kada se nizovi za analizu formiraju iz kalendarske i hidrološke godine po standardu u Srbiji (1.11-31.10.) i SAD (1.10.-30.09.). U radu je primenjena metodologija preporučena u Biltenu 17C (England et al., 2019), koji prati alat za statističku analizu – softverski paket HEC-SSP (USACE, 2019). Analiza je sprovedena na uzorku od 17 hidroloških stanica (HS) na prostoru Republike Srbije. Formiran je i analiziran ukupno 51 niz godišnjih maksimuma. Kao mera saglasnosti rezultata ocene kvantila iz hidroloških godina sa referentnom kalendarskom, korišćena je procentualna razlika (greška). Utvrđene razlike su sagledane i prostorno, a posebno je analizirana i učestalost javljanja GM po mesecima na ispitivanim HS.

Motivacija za istraživanje je potreba za stalnim preispitivanjem i unapređenjem postupaka za ocenu velikih voda, koja je dovela i do dokumenata kakav je Bilten17C (USACE, 2019) i preliminarne preporuke za domaću praksu (Blagojević i sar., 2014).

## 2 Metodologija

### 2.1 Izbor hidroloških stanica

Sve razmatrane HS (Slika 1) pripadaju osmatračkoj mreži površinskih voda Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije (RHMZS), a podaci o HS i podaci osmatranja protoka su javno dostupni (RHMZS, -). Kriterijumi za izbor HS su postavljeni u okviru šireg istraživanja (Đokić i sar., 2021), tako da su za izabrane stanice preuzeti nizovi maksimalnih godišnjih protoka formiranih metodom GM u kalendarskoj godini, na osnovu rezultata ispitivanja podobnosti nizova za statističku analizu (SA). Osnovni podaci o HS i nizovima GM su prikazani u Tabeli 1.



Slika 1. Lokacije izabranih HS (GIS podaci: GeoSrbija)

Figure 1. Location of selected HS (GIS data: GeoSrbija)

Tabela 1. Pregled podataka o HS i nizovima GM korišćenim u SA.

Table 1. Overview of hydrological stations (HS) data and annual maxima (AM) datasets used in statistical analysis (SA).

Br	Podaci o HS				Podaci za SA	
	HS	Reka	Šifra	Površina sliva (km <sup>2</sup> )	Period obrade	Ukupno podataka za SA
1	Majur	Lugomir	47035	427	1987-2019	33
2	Lešnica	Jadar	45892	959	1983-2019	37
3	Guberevac	Gruža	47140	491	1981-2019	37
4	Leskovac	Veternica	47665	500	1976-2019	41
5	Pirot	Nišava	47920	1745	1977-2019	42
6	Donja Kamenica	T. Timok	42935	360	1977-2019	42
7	Pepeljevac	Toplica	47850	986	1977-2019	43
8	Crnajka	Crnajka	42760	96	1974-2019	46
9	Ćemanov most	Tamnava	45917	384.6	1971-2019	47
10	Gamzigrad	C. Timok	42914	1213	1966-2019	50
11	Priboj	Lim	45842	3684	1962-2019	55
12	Korvingrad	J. Morava	47750	9396	1964-2019	56
13	Braćeveci	Visočica	47937	227	1961-2019	57
14	Niš	Nišava	47990	3870	1962-2019	57
15	Jaša Tomić	Tamiš	42401	5334	1961-2019	59
16	Dimitrovgrad	Nišava	47910	482	1959-2019	61
17	Kratovska stena	Z. Morava	47101	3077	1927-2019	89

Lokacije HS prikazane na Slici 1 su u GIS okruženju. Tematski prostorni podaci su preuzeti sa Geoportala Nacionalne infrastrukture geoprostornih podataka Srbije Republičkog Geodetskog Zavoda (RGZ) GeoSrbija (RGZ, -).

Sedamnaest HS na kojima je obavljeno ovo istraživanje, imaju uglavnom potpune nizove osmatranja protoka u periodu obrade i zadovoljavaju uslove za SA (Đokić i sar., 2021). Opseg površine slivova je od 96 do 9396 km<sup>2</sup>, a najzastupljeniji slivovi u uzorku su male i srednje površine. Tri HS površine slivova 3000-5000 km<sup>2</sup> se uslovno mogu kategorisati kao srednji slivovi, dok dve HS pripadaju velikim slivovima (površina sliva > 5000 km<sup>2</sup>).

## 2.2 Formiranje nizova kalendarske i hidrološke godine

Osmotreni protoci na HS u Srbiji, dostupni su u hidrološkim godišnjacima koje za svaku kalendarsku godinu objavljuje RHMZS (RHMZS, -). U ovom istraživanju, korišćene su tri vrste nizova GM na svakoj HS, koji su definisani i označeni na sledeći način:

1. KG - niz formiran od GM protoka iz svake kalendarske godine 1.01. -31.12. u periodu obrade (Tabela 1).
2. HG1 - niz formiran od GM iz svake hidrološke godine u periodu 1.10-30.09. U odnosu na niz iz KG, HG1 može se razlikovati u određenoj meri: Ako godišnji maksimum sa pojavom u 10,11 i 12. mesecu u *i*-toj godini premaši maksimum iz sledeće kalendarske (*i*+1) godine. Ovaj slučaj dešava se na rekama sa zimsko-kišnim režimom oticaja kada velike vode imaju tendenciju javljanja u jesen i pred zimu (Jevđević, 1956).
3. HG2 - formiran od GM protoka iz svake hidrološke godine 1.11-31.10., gde se u odnosu na KG razmatraju maksimalne vrednosti iz 11. i 12. meseca u *j*-toj i 1-10. meseca u narednoj (*j*+1) godini

Nakon formiranja nizova HG, iako se u najvećoj meri sastoje od istih podataka kao nizovi KG, izvršena je provera njihove podobnosti za SA i utvrđeno je da su svi nizovi podobni.

### 2.2.1 Modifikacija podataka zbog zahteva softverskog paketa HEC-SSP

Ulazni podaci za softverski paket HEC-SSP su datumi pojave i vrednosti GM. Provera datuma pojave GM se vrši softverski prilikom unosa podataka. Samo jedna vrednost može postojati unutar definisane HG1 po kojoj softver radi (USACE, 2019), a ukoliko to nije zadovoljeno, pojavljuje se upozorenje i pokretanje analize nije moguće. Da bi se program koristio za analizu nizova KG i HG2, potrebno je modifikovati podatke za unos.

Kako se preliminarno raspolagalo osmotrenim nizovima GM iz Hidroloških godišnjaka i datumima njihove pojave, vršene su dve vrste modifikacije ulaznih podataka u zavisnosti od toga u kom delu godine je GM:

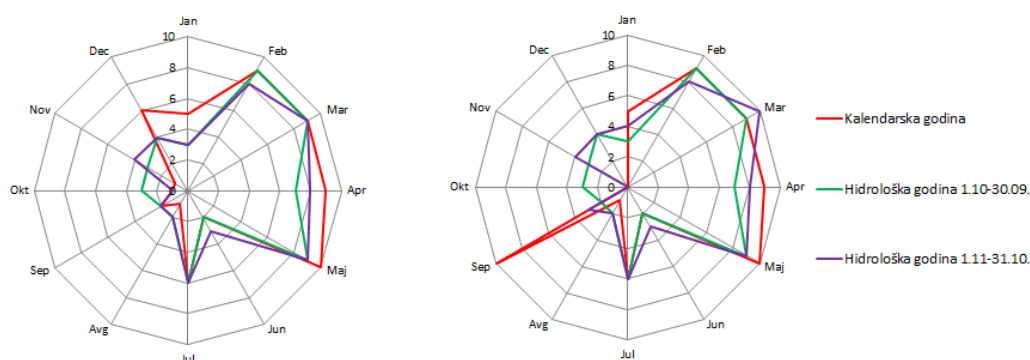
1. Izmena neodgovarajućih datuma pojave GM u 9. mesec (septembar). Ovaj mesec je izabran iz praktičnih razloga – na našim rekama je veoma retka pojava velikih voda u 9. mesecu, tako da se eventualne greške ili neočekivani rezultati mogu lakše otkloniti ili proveriti. Kod formiranja nizova KG neodgovarajući meseci su 10, 11 i 12.  
*Primer:* Na reci Nišavi u profilu HS Niš, godine 1977. zabeležen je maksimalni protok u decembru ( $Q_{max} = 176 \text{ m}^3/\text{s}$  31.12.1977). Naredne, 1978. godine, GM javio se u martu ( $Q_{max} = 248 \text{ m}^3/\text{s}$ , 22.03.1978). HEC-SSP bi prepoznao obe vrednosti protoka u istoj HG koja je u ovom slučaju počela 01.10.1977. a završila se 30.09.1978. Da bi analiza velikih voda bila izvršena, datum javljanja maksimalnog protoka od 31.12.1977. promenjen je na 30.09.1977.
2. Izmena vrednosti protoka. Ova modifikacija vršena je za nizove HG1 i HG2.  
*Primer:* Na reci Tamiš u profilu HS Jaša Tomić, kalendarske 2017. godine zabeležen je maksimalni protok ( $Q_{max} = 134 \text{ m}^3/\text{s}$ , 10.02.2017). Do promene vrednosti protoka u nizu u odnosu na KG, dolazi usled javljanja većeg protoka prethodne, 2016. godine ( $Q_{max} = 197.65 \text{ m}^3/\text{s}$ , 16.11.2016).

### 2.3 Učestalost pojave maksimalnog godišnjeg protoka - Zvezdasti dijagram

Kvalitativno obeležje ciklične prirode kakva je pojava velikih voda određenog meseca u godini, može se grafički prikazati zvezdastim dijagramom (Popović i Blagojević, 1999). Upotrebom zvezdastih dijagrama, na 17 HS analizirana je učestalost pojave maksimalnog godišnjeg protoka po mesecima za nizove:

- 1) KG sa stvarnim i modifikovanim datumima
- 2) HG2 (1.11-31.10.) sa stvarnim i modifikovanim datumima
- 3) HG1 (1.10-30.09.).

Na slici 2. dat je primer HS Dimitrovgrad. Na dijagramima sa stvarnim datumima (slika levo) vidi se potencijalna razlika u podacima protoka na nizu između obe hidrološke i kalendarske godine. Zvezdasti dijagramima sa modifikovanim datumima (slika desno) pokazuju u kojoj meri se javlja potreba za „prebacivanjem“ GM u 9. mesec.



Slika 2. Učestalost pojave GM po mesecima na HS Dimitrovgrad na nizovima KG, HG1 i HG2. Levo – osmotreni nizovi, desno – modifikovani nizovi.

Figure 2. Frequency of occurrence of annual peaks by months at HS Dimitrovgrad on the datasets CY, HY1 and HY2. Left – gauged datasets, right – modified datasets.

### 2.4 Analiza velikih voda - Ocena kvantila

Preporuke za proračun velikih voda u SAD - Bilten17C (England et al., 2019) uvele su nove predloge i koncepte u postupanju sa problemima iz prakse u odnosu na 30 godina korišćen Bilten 17B. Kao probabilistički model za velike vode i dalje ostaje log-Pirson III (LPTIII) raspodela, uz ocenu parametara raspodele verovatnoće pomoću novog algoritma očekivanih momenata (Expected Moments Algorithm – EMA). Kao i Bilten17B, Bilten17C takođe ocenjuje parametre LPTIII na osnovu uzoračkih momenata, ali to čini na integrisaniji način koji uključuje nestandardne, cenzurisane ili istorijske podatke odjednom a ne kao niz procedura prilagođavanja (Cohn, et al., 1997). U kombinaciji sa izrazom Hirš-Štedingera za proračun kompromisne verovatnoće, ulazne podatke je moguće zadati i preko intervala. S tim u vezi, u okviru analize velikih voda na nizovima formiranim metodom GM, svaka vrednost maksimalnog godišnjeg protoka, bez obzira da li je osmotrena ili ne, može se predstaviti opsegom protoka (intervalom). Ovaj raspon je ograničen na izmerenu vrednost kada je protok osmotren (tačka), ali se i u tom slučaju može koristiti kao raspon, ukoliko postoji sumnja u izmerenu vrednost protoka. Shodno tome, uveden je koncept pragova percepcije za predstavljanje podataka koji nedostaju u nizu, čija se donja granica bira tako da odgovara najmanjoj vrednosti protoka koja je mogla biti zabeležena, a istraživane su i druge mogućnosti za izbor te veličine (Blagojević i sar., 2020).

Na dobar probabilistički model velikih voda u velikoj meri može uticati postojanje izuzetaka u nizovima a naročito postojanje donjih izuzetaka. Poznato je da donji izuzeci imaju značaj na ocenu parametara teorijske raspodele, koeficijent asimetrije, krivu verovatnoće a time i na ocenu kvantila velikih voda. Bilten17C opisuje postupak sa tzv. potencijalno uticajnim malim vrednostima protoka u

nizovima velikih voda (engl. *potentially-influential low floods, PILF*), ispitivanim i na slivovima u Srbiji (Plavšić i sar., 2016). Ova procedura se zasniva na višestrukom Grubs-Bek testu, nakon koga se otkriveni izuzeci odstranjuju iz niza a koeficijent asimetrije računa bez njih. Detektovanje donjih izuzetaka kao i promena koeficijenta asimetrije na ulaznim nizovima su od značaja u ovom istraživanju zbog uticaja na ocenu kvantila izborom kalendarske ili hidrološke godine.

### 2.5 Saglasnosti rezultata ocene kvantila iz različitih nizova

Kada se govori o meri saglasnosti nekih rezultata, porede se osmotrene ( $x_o$ ) i simulirane vrednosti ( $x_s$ ). Za osmotrene vrednosti kaže se da predstavljaju referentne ili stvarne vrednosti u sagledavanju sračunate veličine. Simulirane vrednosti ili računске vrednosti dobijene su nekom metodom ili modelom za koji se sagledava objektivna razlika u odnosu na stvarnu vrednost. Poredjenjem osmotrene i simulirane vrednosti ocenjuje se neizvesnost korišćenog modela.

U radu je, zbog ustaljene prakse, osmotrena ili referentna vrednost ( $x_o$ ) ocena kvantila protoka određene verovatnoće pojave dobijena analizom niza kalendarske godine ( $QT_{KG}$ ). Simulirana ili računska vrednosti ( $x_s$ ) koja se upoređuje je ocena kvantila protoka iste verovatnoće pojave dobijena analizom nizova iz jedne ili druge hidrološke godine ( $QT_{HG}$ ). Kao mera saglasnosti rezultata korišćena je relativna procentualna greška ocene kvantila (eng. *percent BIAS*), koja se u ovom slučaju pre može nazvati razlikom:

$$PBIAS = \frac{x_s - x_o}{x_o} \cdot 100 = \frac{QT_{HG} - QT_{KG}}{QT_{KG}} \cdot 100 [\%]. \quad (1)$$

Relativna procentualna razlika može biti pozitivna ili negativna i ovde pokazuje da li su kvantili dobijeni iz HG veći ili manji u odnosu na one dobijene iz KG..

## 3 3. Rezultati i diskusija

### 3.1 Ocene kvantila velikih voda

Veličine relativnih procentualnih razlika ocene kvantila velikih voda na analiziranom uzorku između referentnog niza KG i obe razmatrane HG, prikazane su u tabeli 2 (gore-HG1, dole-HG2). Rezultati su dati za sve razmatrane povratne periode na 17 HS poređanih po površini sliva. Plave nijanse razlika ocene kvantila pokazuju u kojoj meri su kvantili protoka iz HG prevazišli kvantile istog povratnog perioda iz KG, a braon nijanse, suprotno. Malim (prihvatljivim) odstupanjem rezultata smatra se razlika od  $|0 \div 5| \%$ , a značajnim,  $> |10| \%$ .

Za svaku HS, prikazani su i koeficijenti asimetrije ( $C_s$ ) odgovarajućih nizova, broj donjih izuzetaka, kao i modifikacije ulaznih podataka: broj promena datuma i broj promena protoka u nizu GM. Značajnija razlika  $C_s$  nizova (promena vrednosti ili promena znaka) između ulaznih nizova istaknuta je zadebljanjem vrednosti.

Na slikama 3. i 4. dat je prostorni prikaz procentualne razlika ocene kvantila povratnog perioda 100 i 1000 godina, u odnosu na kvantile ocenjene iz KG na svim razmatranim HS.

### 3.2 Uticaj različitih faktora na ocenu kvantila velikih voda

Na osnovu dobijenih razlika ocene kvantila, uočava se malo odstupanje na svim HS za povratne periode 100 godina i manje, a značajnije odstupanje za veće ispitivane povratne periode ( $T = 200, 500$  i 1000 godina). Na HS sa značajnijim odstupanjima u ovoj kategoriji rezultata, zapažene su:

- 1) Veće razlike  $C_s$  između niza KG i HG,
- 2) Razlika u broju otkrivenih donjih izuzetaka na nizu HG,
- 3) Veći broj modifikacija ulaznih podataka - broja promenjenih datuma kod formiranja ulaznih nizova KG i broja zamenjenih GM u nizu HG.



# 19. Savetovanje SDHI i SDH - Beograd, Srbija 2021.

## Conference SDHI & SDH - Belgrade, Serbia 2021.

Na stanicama sa malom i velikom površinom sliva, dobijene razlike su i u vezi sa izborom HG. Kada se posmatraju dve najveće i najmanje površine sliva: HS Korvingrad (A = 9396 km<sup>2</sup>), HS Jaša Tomić (5334 km<sup>2</sup>), HS Braćeveci (227 km<sup>2</sup>) i HS Crnajka (96 km<sup>2</sup>), HS Korvingrad sa najvećom površinom sliva iz uzorka, daje znatno bolje slaganje svih kvantila u odnosu na KG primenom HG1 naspram HG2, što je zapaženo i za HS Jaša Tomić, drugoj po veličini površini sliva. S druge strane, na stanicama sa najmanjom površinom sliva, HS Braćeveci i HS Crnajka, ocene svih kvantila pokazuju da je znatno bolje slaganje rezultata iz KG sa HG2.

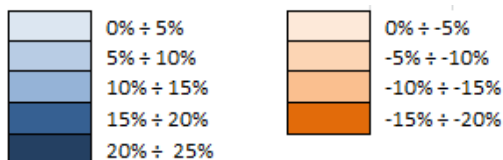
Razlika u broju detektovanih donjih izuzetaka u nizu HG u odnosu na niz KG, pokazala se kao jedan od faktora koji utiče na ocenu kvantila velikih voda. Na primer, na HS Gamzigrad detektovano je 17 donjih izuzetaka u nizu obe HG naspram 0 izuzetaka u nizu KG. Korišćenje obe HG na HS Gamzigrad dovodi do porasta razlike ocene kvantila sa povratnim periodom većim od 20 godina.

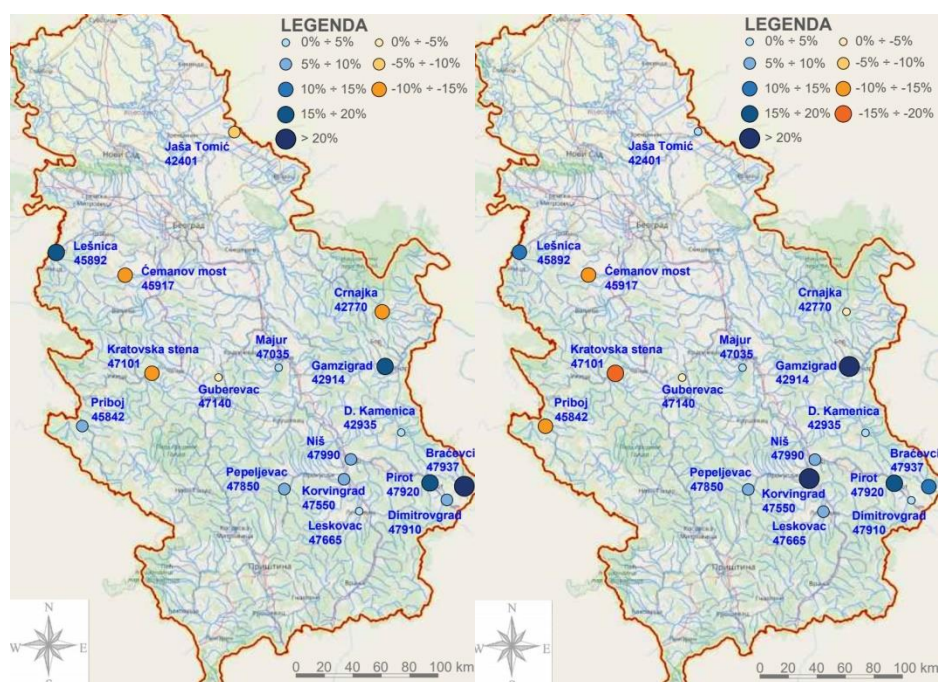
Tabela 2. Procentualna razlika ocene kvantila iz HG1 (gore) i HG2 (dole) u odnosu na referentni niz KG.

Table 2. Percent bias of flood quantile estimates from HY1 (up) and HY2 (down) with reference to CY ones.

		Saglasnost rezultata kvantila između KG i HG1																		
T(x)	P(x)	HS	Korvingrad	J.Tomić	Niš	Priboj	K.Stena	Pirov	Gamzigra	Pepejeljeva	Lešnica	Leskovac	Gubereva	Dimitrovgrad	Majur	C.Most	D.Kamenic	Braćeveci	Crnajka	
		Reka	J.Morava	Tamiš	Nišava	Lim	Z.Morava	Nišava	C.Timok	Toplica	Jadar	Veternic	Gruža	Nišava	Lugomir	Tamnava	Trg.Timok	Visočica	Crnajka	
		A [m <sup>2</sup> ]	9396	5334	3870	3684	3077	1745	1213	986	959	500	491	482	427	385	360	227	96	
1000	0.1		8.47	-6.25	7.15	6.30	-13.85	15.71	19.99	8.66	19.39	4.43	-4.74	7.64	1.36	-10.62	1.31	-21.02	-11.33	
500	0.2		7.17	-4.88	5.70	4.97	-11.63	12.89	18.30	6.93	14.83	4.41	-4.31	6.60	1.02	-7.58	1.42	-17.75	-9.56	
200	0.5		5.41	-3.13	3.82	3.29	-8.66	9.31	15.74	4.67	9.45	4.36	-3.78	5.28	0.61	-3.73	1.44	-13.41	-7.12	
100	1		4.07	-1.88	2.44	2.08	-6.42	6.75	13.53	3.01	5.89	4.32	-3.14	4.36	0.34	-1.03	1.33	-10.07	-5.23	
50	2		2.74	-0.74	1.12	0.94	-4.20	4.36	11.03	1.41	2.82	4.34	-2.43	3.35	0.11	1.37	1.08	-6.77	-3.28	
20	5		1.00	0.51	-0.51	-0.43	-1.43	1.54	7.13	-0.60	-0.36	4.38	-1.67	2.23	-0.10	3.78	0.44	2.48	-0.68	
10	10		-0.26	1.15	-1.54	-1.32	0.40	-0.16	3.57	-2.08	-1.85	4.38	-0.57	1.49	-0.16	4.63	-0.39	-0.81	1.29	
5	20		-1.36	1.30	-2.26	-2.00	1.73	-1.30	-0.81	-3.33	-2.12	4.25	0.37	0.81	-0.07	4.04	-1.73	-3.81	3.18	
2	50		-2.10	-0.38	-1.85	-2.09	1.26	-0.38	-9.26	-4.42	1.87	4.22	2.74	0.38	0.60	-2.11	-5.22	-7.34	4.97	
Koeficijent asimetrije (Cs)	KG		-0.736	-0.069	-0.642	-0.104	-0.201	-0.581	-0.970	-0.164	0.072	-1.410	-0.971	-0.292	0.118	0.093	-0.107	-0.740	-0.313	
	HG1		-0.576	-0.241	-0.462	0.111	-0.510	-0.136	-0.886	-0.032	0.695	-1.410	-1.004	-0.222	0.118	-0.234	-0.200	-0.526	-0.456	
Broj donjih izuzetaka	KG		6	0	0	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	
	HG1		1	0	0	6	7	3	17	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	
Broj promenjenih datuma	KG		6	4	9	23	14	7	8	8	4	4	0	8	0	4	8	7	6	
	HG1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Promena GM	HG1		12	11	14	33	22	11	14	17	7	9	3	16	2	8	12	11	12	

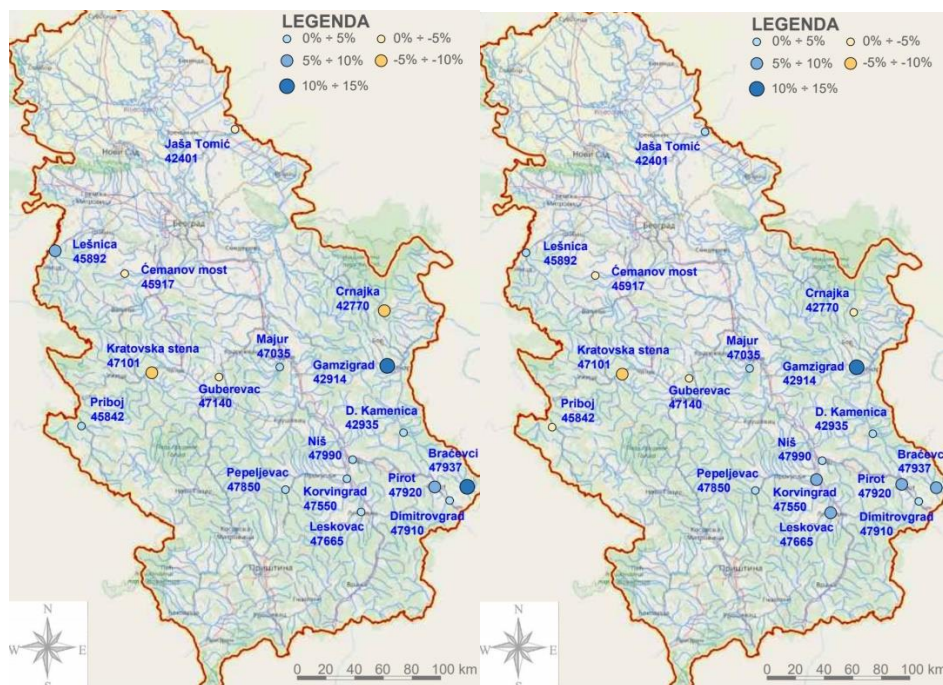
		Saglasnost rezultata kvantila između KG i HG2																		
T(x)	P(x)	HS	Korvingrad	J.Tomić	Niš	Priboj	K.Stena	Pirov	Gamzigra	Pepejeljeva	Lešnica	Leskovac	Gubereva	Dimitrovgrad	Majur	C.Most	D.Kamenic	Braćeveci	Crnajka	
		Reka	J.Morava	Tamiš	Nišava	Lim	Z.Morava	Nišava	C.Timok	Toplica	Jadar	Veternic	Gruža	Nišava	Lugomir	Tamnava	Trg.Timok	Visočica	Crnajka	
		A [m <sup>2</sup> ]	9396	5334	3870	3684	3077	1745	1213	986	959	500	491	482	427	385	360	227	96	
1000	0.1		20.06	3.07	5.93	-10.84	-17.09	15.71	22.01	8.66	14.63	7.44	-4.74	1.68	1.36	-13.78	0.61	13.86	-0.73	
500	0.2		16.41	2.59	4.72	-9.00	-14.41	12.89	19.95	6.93	11.24	7.13	-4.31	1.50	1.02	-10.50	1.07	11.62	-0.81	
200	0.5		11.80	1.97	3.11	-6.61	-10.78	9.31	16.90	4.67	7.21	6.74	-3.78	1.25	0.61	-6.26	1.55	8.76	-0.92	
100	1		8.48	1.52	1.95	-4.86	-8.02	6.75	14.32	3.01	4.52	6.36	-3.14	1.07	0.34	-3.19	1.76	6.51	-0.99	
50	2		5.31	1.08	0.84	-3.22	-3.29	4.36	11.45	1.41	2.19	5.93	-2.43	0.90	0.11	-0.37	1.81	4.23	-1.05	
20	5		1.49	0.54	-0.51	-1.32	-1.89	1.54	7.10	-0.60	-0.21	5.16	-1.67	0.70	-0.10	2.72	1.49	1.35	-1.13	
10	10		-0.99	0.18	-1.34	-0.27	0.33	-0.16	3.26	-2.08	-1.31	4.60	-0.57	0.60	-0.16	4.19	0.84	-0.81	-1.11	
5	20		-2.80	-0.11	-1.89	0.13	1.84	-1.30	-1.31	-3.33	-1.44	3.72	0.37	0.40	-0.07	4.32	-0.43	-2.94	-1.08	
2	50		-2.57	-0.24	-1.34	-1.90	0.71	-0.38	-9.62	-4.42	1.90	2.81	2.74	0.38	0.60	-0.54	-4.30	-4.89	-0.86	
Koeficijent asimetrije (Cs)	KG		-0.736	-0.069	-0.642	-0.104	-0.201	-0.581	-0.970	-0.164	0.072	-1.410	-0.971	-0.292	0.118	0.093	-0.107	-0.740	-0.313	
	HG2		-0.312	-0.028	-0.484	-0.539	-0.602	-0.136	-0.857	-0.032	0.556	-1.366	-1.004	-0.277	0.151	-0.243	-0.241	-0.578	-0.301	
Broj donjih izuzetaka	KG		6	0	0	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	
	HG2		4	0	0	6	0	3	17	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	
Broj promenjenih datuma	KG		6	4	9	23	14	7	8	8	4	4	0	8	0	4	8	7	6	
	HG2		1	1	1	3	2	0	1	0	2	0	0	1	0	2	0	2	1	
Promena GM	HG2		12	8	12	31	20	11	12	17	5	8	3	14	2	8	9	9	9	





Slika 3. Prostorni prikaz razlike ocene kvantila protoka za  $T = 1000$  god. korišćenjem HG1 (levo) i HG2 (desno).

Figure 3. Spatial layout of flood quantile estimate *PBIAS* for  $T = 1000$  years using HG1 (left) and HG2 (right).



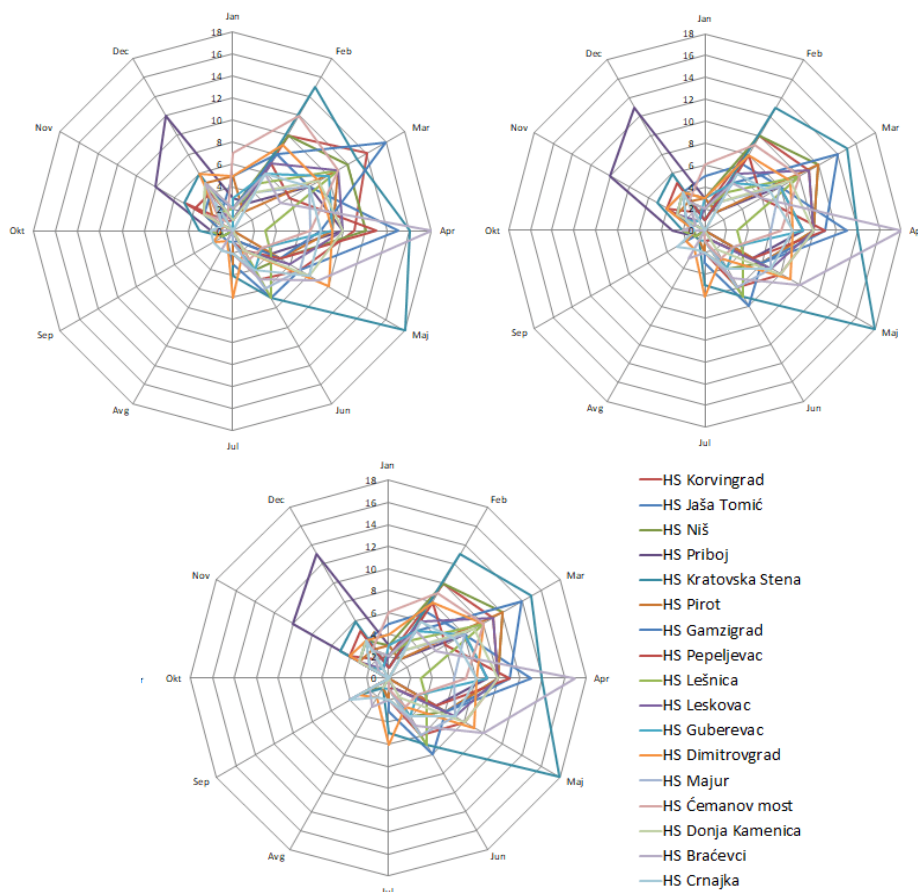
Slika 4. Prostorni prikaz razlike ocene kvantila protoka za  $T = 100$  god. korišćenjem HG1 (levo) i HG2 (desno).

Figure 4. Spatial layout of flood quantile estimate *PBIAS* for  $T = 100$  years using HG1 (left) and HG2 (right).



Na slici 5. dat je grafički prikaz učestalosti pojave GM na nizovima 17 HS, korišćenjem KG i HG2. Rezultati ukazuju da modifikacija podataka pri korišćenju softvera HEC-SSP nije presudan faktor u dobijenim razlikama ocene kvantila velikih voda:

- 1) Promenjeni GM ne izostaju u potpunosti iz niza HG, već se često javljaju kao maksimalne vrednosti u narednoj godini osmatranja,
- 2) Potencijalne razlike u ulaznom nizu prave GM iz 10. meseca, čija je pojava retka (razlika između dijagrama sa realnim i modifikovanim datumima - Slika 3).

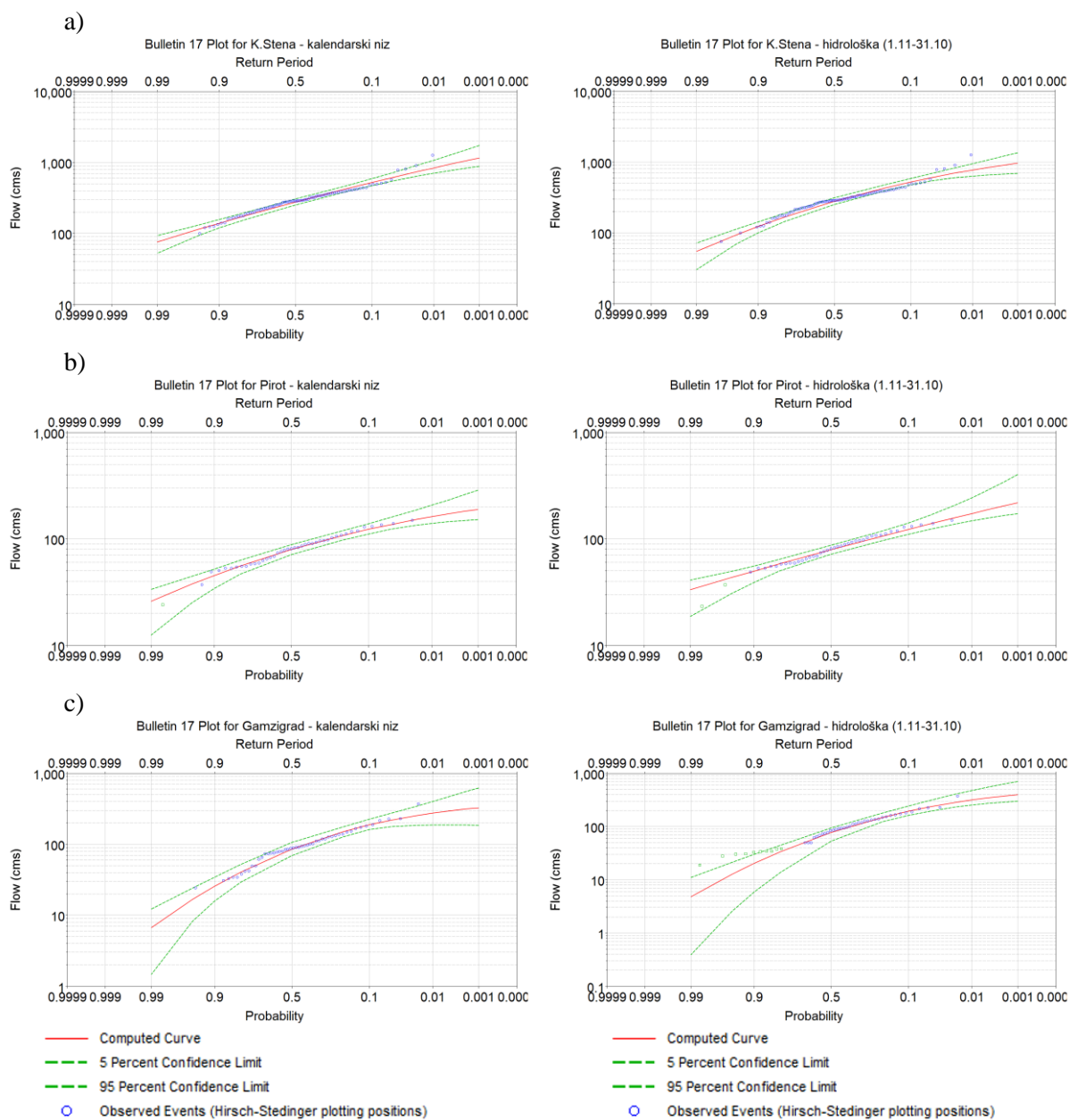


Slika 5. Učestalost pojave GM po mesecima na 17 HS na osmotrenom nizu KG (gore levo), osmotrenom nizu HG2 (gore desno) i modifikovanom nizu HG2 (dole).

Figure 5. Annual flow maxima occurrence frequency by months on 17 HS for gauged dataset CY (up left), gauged dataset HY2 (up right) and modified dataset HY2 (down).

Koeficijent asimetrije je jedan od glavnih parametara koji treba uzeti u razmatranje - na svim HS na kojima je utvrđena veća razlika u oceni kvantila iz HG u odnosu na KG, došlo je do značajnije promene  $C_s$  (Tabela 2): prilikom njegovog porasta, dolazi do većih vrednosti kvantila velikih voda (HS Korvingrad, HS Pirot, HS Gamzigrad, HS Lešnica i HS Bračevci), a opadanjem, do smanjenja (HS K.Stena, HS Čemanov most, HS Guberevac).

Za tri odabrane HS na kojima su zabeležene najznačajnije razlike ocene kvantila većih povratnih perioda iz obe HG u odnosu na KG, na slici 6. prikazane su krive teorijske raspodele verovatnoće za nizove KG i HG1: a) HS Kratovska Stena, b) HS Pirot i c) HS Gamzigrad.



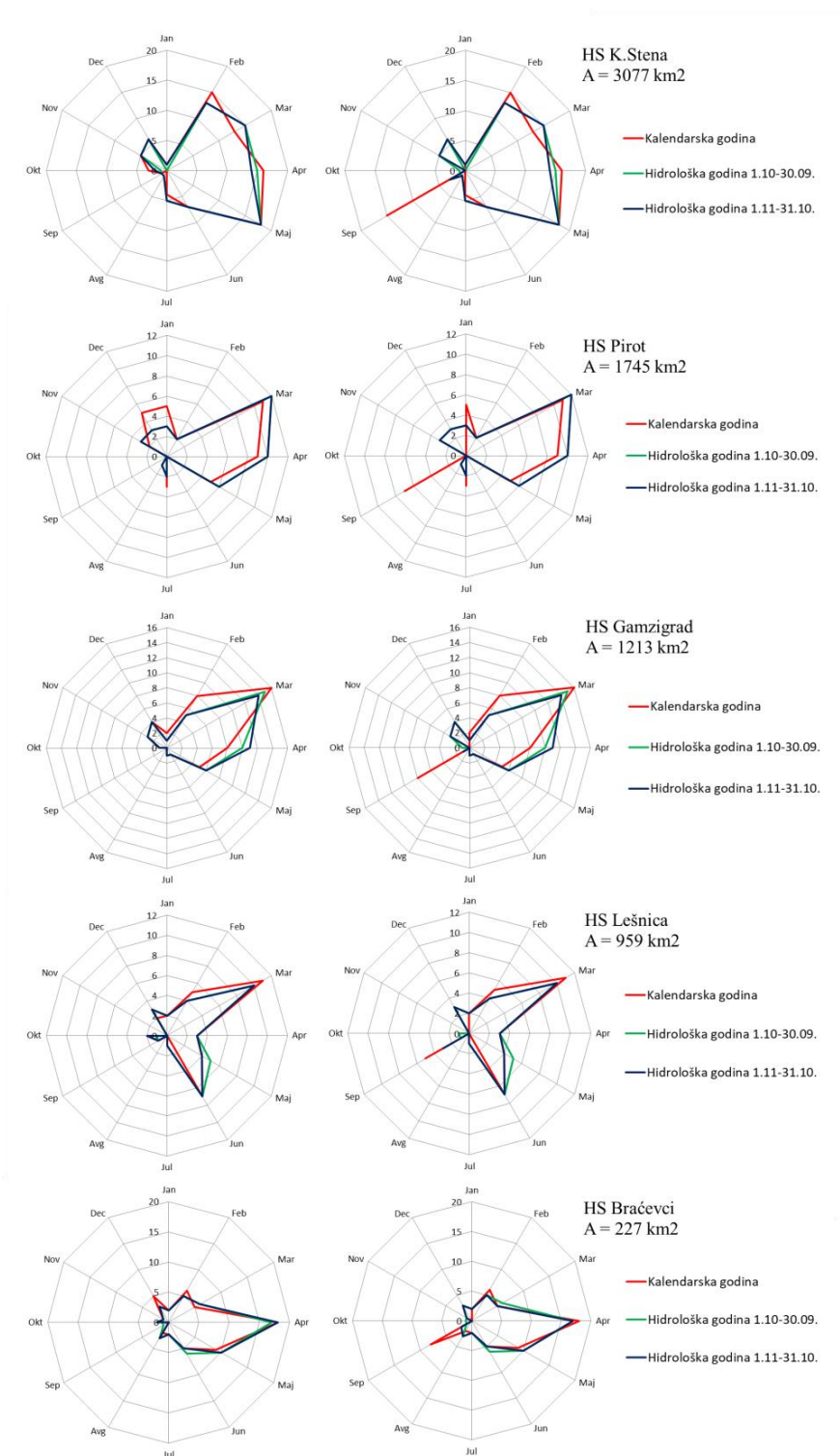
Slika 6. Dijagrami verovatnoće na tri HS za niz KG (leva kolona) i HG1 (desna kolona)

Figure 6. Probability plots for three HS for the CY input dataset (left column) and HY1 (right column)

### 3.3 Grafički prikaz pojave godišnjih maksimuma po mesecima

Učestalost pojave GM po mesecima za pet HS na kojima je utvrđena značajna razlika ocena kvantila, prikazana je grafičkom metodom - zvezdastim dijagramom na slici 7. Prikazane su učestalosti na HS Kratovska stena, HS Piroć, HS Gamzigrad, HS Lešnica i HS Braćeveci.

# 19. Savetovanje SDHI i SDH - Beograd, Srbija 2021. Conference SDHI & SDH - Belgrade, Serbia 2021.



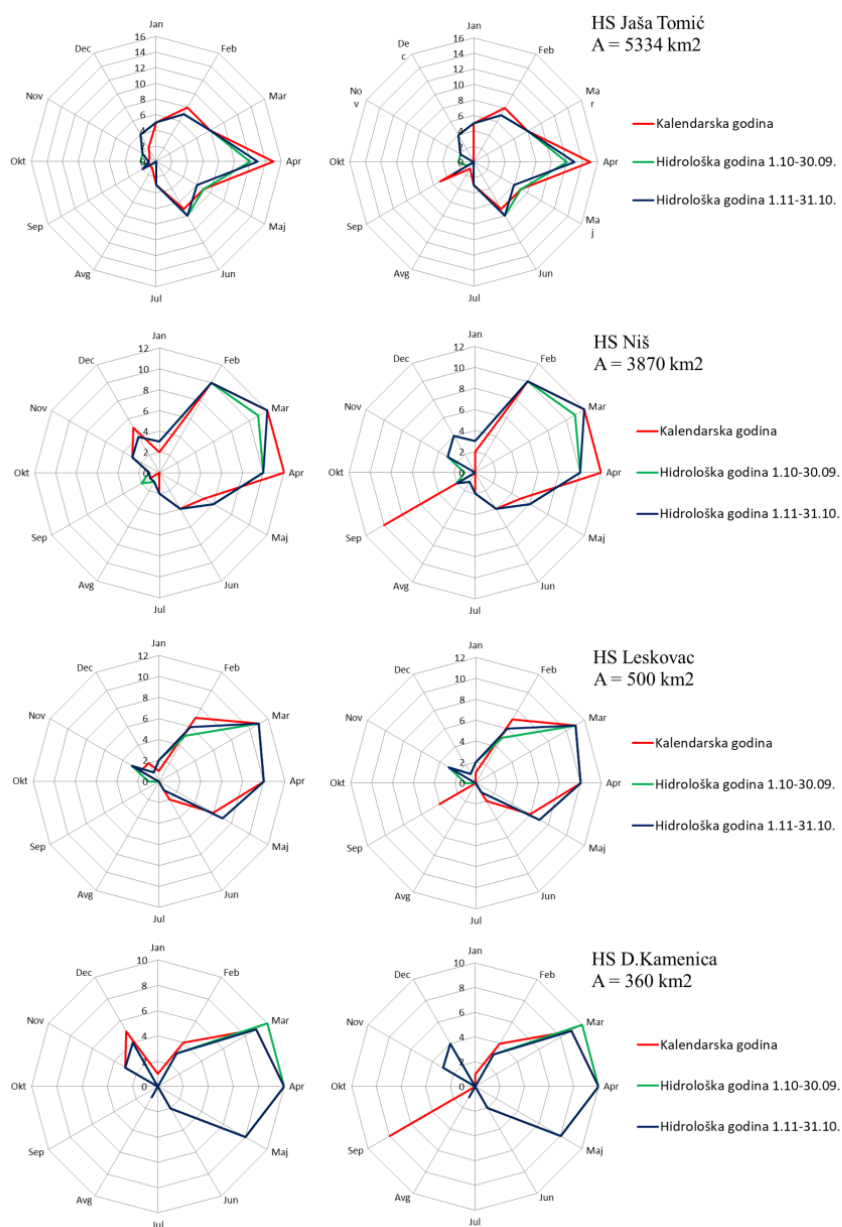
Slika 7. Učestalost pojave GM po mesecima u nizovima sa stvarnim (kolona levo) i modifikovanim datumima pojave (kolona desno) za KG i obe HG.

Figure 7. Annual flow maxima occurrence frequency by months in the datasets with observed (left column) and modified dates (right column) for the CY and both HY.

# 19. Savetovanje SDHI i SDH - Beograd, Srbija 2021. Conference SDHI & SDH - Belgrade, Serbia 2021.

Na slici 8. dati su zvezdasti dijagrami pojave GM po mesecima za HS sa najmanjom razlikom ocene kvantila: HS Jaša Tomić, HS Niš, HS Leskovac i HS Donja Kamenica.

Praćenje učestalosti pojave GM po mesecima na razmatranim HS i razlike ocene kvantila velikih voda, ne ukazuje na postojanje veze kod HS na kojima su se javile značajne razlike ocene kvantila (Slika 7.). Međutim, na stanicama kod kojih je mala razlika ocene kvantila, dijagrami pokazuju određenu sličnost (Slika 8.). Na ovim stanicama zabeležen je sličan režim pojave GM sa tendencijom javljanja u martu, aprilu i maju.



Slika 8. Učestalost pojave GM po mesecima u nizovima sa stvarnim (kolona levo) i modifikovanim datumima pojave (kolona desno) za KG i obe HG.

Figure 8. Annual flow maxima occurrence frequency by months in the datasets with observed (left column) and modified dates (right column) for the CY and both HY.



## 4 Zaključak

U radu je sprovedeno istraživanje u pogledu ocene kvantila protoka dobijenih statističkom analizom velikih voda na 17 HS metodologijom preporučenom u Biltenu 17C, korišćenjem softverskog paketa HEC-SSP. Kvantili su ocenjivani iz nizova KG (1.1-31.12.) i korišćeni kao referentne vrednosti, zatim iz HG1 (1.10-30.09) i HG2 (1.11-31.10). Procentualne razlike ocene kvantila protoka su posmatrane zajedno sa dijagramima učestalosti pojave GM na HS. Analizom dobijenih rezultata, tražen je odgovor na pitanje: Da li je isto koristiti kalendarsku i hidrološku godinu od 1. novembra u analizi velikih voda na rekama u Srbiji?

Rezultati ukazuju na sledeće:

- 1) Na kvantilima protoka ispitivanih povratnih perioda do 100 godina, ne javljaju se razlike veće od  $|10|\%$ , bilo da se formiraju nizovi KG ili HG, sa izuzetkom HS Gamzigrad.
- 2) Značajne razlike ocene kvantila ( $|10-20|\%$ ) prisutne su samo za velike povratne periode (200, 500 i 1000 godina) i to na sedam od sedamnaest ispitivanih HS.
- 3) Prostorno gledano, kod HS na jugu i jugoistoku zemlje, korišćenjem nizova KG umesto HG2, izraženije je potcenjivanje kvantila velikih voda većih povratnih perioda.
- 4) Ukoliko se površina sliva uzima kao faktor odluke, kod slivova površine do 1000 km<sup>2</sup> korišćenje KG ili HG2 ne dovodi do značajnih razlika kvantila. Međutim, na slivovima površine veće od 1000 km<sup>2</sup>, u zavisnosti i od statističkih osobina niza, razlike mogu biti značajne.
- 5) Očekivano, od statističkih osobina niza, donji izuzeci mogu biti presudan faktor kod većih razlika ocene kvantila ukoliko se jave u znatno većoj meri sa promenom KG u HG2. Međutim, glavni faktor jeste promena koeficijenta asimetrije ( $C_s$ ) HG2 u odnosu na KG.
- 6) Na ispitivanom uzorku od 17 HS nije moguće zaključiti da li pojava GM u određenom delu godine utiče na pojavu veće razlike ocena kvantila između KG i HG2, iako se najmanje razlike javljaju kod HS sa tendencijom javljanja velikih voda u proleće.

Kada je u pitanju softver HEC-SSP, isti se može preporučiti za korišćenje zbog jednostavnosti i dobre podrške u vidu prateće literature, a modifikacije radi korišćenja softvera su jednostavnije pri formiranju nizova KG iz podataka o GM iz Hidroloških godišnjaka, u odnosu na modifikacije radi korišćenja HG2.

Preporuka za praksu na osnovu rezultata istraživanja bi bila da se za slivove površine preko 1000 km<sup>2</sup> prilikom izbora merodavnih velikih voda, u razmatranje uključe računске velike vode dobijene iz kalendarske i hidrološke godine (HG2). Za slivove manje površine od 1000 km<sup>2</sup>, na većem broju stanica, potrebno je proveriti da li korišćenje KG ili HG2 ne dovodi do značajnih razlika kvantila velikih voda.

## Zahvalnica

Ovaj rad je delom nastao u okviru istraživanja u projektu tehnološkog razvoja TR 37005 kod Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja pod nazivom „Ocena uticaja klimatskih promena na vodne resurse Srbije“.

## Literatura

1. Blagojević, B., Mihailović, V., Đokić, N. (2021) Ocena kvantila velikih voda iz nepotpunih nizova osmatranja na većim slivovima u Srbiji primenom pragova percepcije. *Vodoprivreda*(52), 259-272.
2. Blagojević, B., Mihailović, V., Plavšić, J. (2014) Statistička analiza velikih voda na profilima hidroloških stanica: Potreba za promenom pristupa. *Vodoprivreda*(46), 199-209.
3. Cohn, T. A., Lane, W. M., Baier, W. G. (1997) An Algorithm for Computing Moments-Based Flood Quantile Estimates When Historical Flood Information is Available. *Water Resources Research*, 2089-2096.

4. Đokić, N., Blagojević, B., Mihailović, V. (2021) Postupci za dobijanje trenutnih maksimuma na osnovu mešovityh nizova maksimalnih godišnjih protoka. *Zbornik radova 19. Naučnog savetovanja Srpskog društva za hidraulička istraživanja (SDHI) i Srpskog društva za hidrologiju (SDH)*. Beograd, 18-19. oktobar 2021., Izdavač: Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet Beograd (u štampi)
5. England, J.F.Jr., Cohn, T.A., Faber, B.A., Stedinger, J.R., Thomas, W.O.Jr., Veilleux, A.G., Kiang, J.E., Mason, R.R.Jr. (2018) Bulletin 17C Guidelines for Determining Flood Flow Frequency. Chapter 5 of Section B, Surface Water, Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation
6. Hirsch, R. M., & Fisher, G. T. (2014). Past, Present, and Future of Water Data Delivery from the U.S. Geological Survey. *Journal of Contemporary Water Research & Education*(153), 4-15.
7. Jevđević, V. (1956). *Hidrologija I deo*. Beograd: Hidrotehnički institut "Ing. Jaroslav Černi".
8. Jovanović, S. (1989). *Tehničar 6*. Beograd: Građevinska knjiga.
9. Plavšić, J., Pavlović, D., Mihailović, V., Blagojević, B. (2016). Statistička analiza velikih voda u prisustvu izuzetaka. *Vodoprivreda*(48), 5-17.
10. Popović, B., Blagojević, B. (1999) *Matematička statistika sa primenama u hidrotehnici*. Niš: Univerzitet u Nišu.
11. Prohaska, S. (2006) *HIDROLOGIJA II DEO*. Beograd: Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi".
12. Republički geodetski zavod (RGZ) (-). Preuzeto Avgusta 2021 sa <https://geosrbija.rs/>
13. Republički hidrometeorološki zavod Srbije (RHMZ) (-). Preuzeto sa [http://www.hidmet.gov.rs/ciril/hidrologija/povrsinske\\_godisnjaci.php](http://www.hidmet.gov.rs/ciril/hidrologija/povrsinske_godisnjaci.php)
14. Struna (-) Preuzeto sa <http://struna.ihj.hr/naziv/hidrolaska-godina/9630/>
15. US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources (USACE) (2019). *Statistical Software Package HEC-SSP User's Manual Version 2.2*. Davis: Hydrologic Engineering Center (HEC).