

ANALIZA UTICAJA KARAKTERISTIKA SLIVA NA OCENE KVANTILA VELIKIH VODA IZ HIDROLOŠKE I KALENDARSKJE GODINE

Aleksandar BOGOJEVIĆ, Nikola ĐENIĆ, Borislava BLAGOJEVIĆ
Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

REZIME

Ocena kvantila velikih voda na uzorku od sedamnaest hidroloških stanica na teritoriji Srbije, pokazala je da su na pojedinim stanicama značajne razlike ocena kvantila (>|10|%) dobijene kod povratnih perioda preko 100 godina kada se koristi kalendarska umesto hidrološke godine. Ispitivane stanice su raznovrsne prema lokaciji (pripadnosti slivovima većih reka), površini (mali, srednji i veliki slivovi) i drugim karakteristikama. Zajedničko im je da imaju većinom potpune nizove ulaznih podataka - godišnjih maksimuma, dužine 33 do 87 godina. Cilj rada je da se ispita da li neke od karakteristika sliva mogu ukazati da je za ocenu kvantila velikih voda potrebno preći sa uobičajene, kalendarske, na hidrološku godinu. Analizirane su morfološke karakteristike slivova kao nepromenljive karakteristike, ali i one koje mogu dati uvid u dinamiku oticaja: krive zastupljenosti protoka i dijagrami sezonskih pokazatelja velikih voda primenom statistika smera.

Ključne reči: kvantili velikih voda, kalendarska godina, hidrološka godina, morfološke karakteristike, kriva zastupljenosti, statistike smera

1. UVOD

Hidrološke analize sprovode se u svim fazama vodoprivrednih i hidrotehničkih aktivnosti: pri planiranju, projektovanju, izgradnji i održavanju vodoprivrednih sistema i hidrotehničkih objekata. Izbor metoda za sve analize zavisi od stepena izučenosti lokacije, obima i tipa raspoloživih podataka. Metode analize se prema tome generalno dele u metode za izučene, delimično izučene i neizučene slivove [9]. Pitanje na koje se retko obraća pažnja u analizama jeste pitanje izbora osnovnog perioda obrade podataka. Ovaj period može biti administrativni ili prirodni/genetski. Pod administrativnim se podrazumeva kalendarska

godina, a pod genetskim, period koji odgovara prirodi postanka razmatranog procesa.

Prateći prirodu procesa formiranja oticaja, pre više od jednog veka (1911. godine) u Americi je uvedena hidrološka ili vodna godina [7]. Hidrološka godina (HG) definiše se kao *'neprekidno dvanaestomesečno razdoblje odabrano tako da su sve promene na njegovom početku i kraju minimalne'* [14]. Jedna od mogućih interpretacija promena je praćenje zaliha vode u rečnoj mreži [10].

Početak hidrološke godine zavisi od geografskog područja čija klima nameće uslove generisanja oticaja sa slivova. U Jugoslaviji, odn. Srbiji je početak hidrološke godine definisan 1. novembra [9], u Americi i Španiji 1. oktobra, dok se u Australiji početak hidrološke godine računa od 1. jula. Početak hidrološke godine bi trebalo preispitivati, posebno zato što je ukazano da se kod nas, u periodu 1961-1990 minimum malovodnog perioda nalazio u mesecu septembru [11].

Svrha uvođenja hidrološke godine je obuhvatanje značajnih događaja na osnovu vremena početka njihovog javljanja i za ovako definisane početke hidrološke godine, ona više odgovara prirodi velikih u odnosu na male vode. Analizi malih voda više pogoduje obrada u okviru kalendarske godine, a to pitanje je sve aktuelnije u svetlu klimatskih promena.

Iako je korišćenje kalendarske godine (KG) u statističkoj analizi velikih voda kod nas ustaljena praksa, pitanje izbora kalendarske ili hidrološke godine ima posledice na ocene kvantila velikih voda, što je pokazano u rezultatima nedavnog istraživanja [3]. Utvrđene su razlike u oceni kvantila velikih voda povratnih perioda većih od 100 godina, kada se nizovi za analizu formiraju iz kalendarske i dve varijante hidrološke godine: definisanoj za Srbiju (1.11-31.10.) i prema standardu za SAD (1.10-30.09.). U radu je

primenjena metodologija preporučena u Biltenu 17C [6], koji prati alat za statističku analizu – softverski paket HEC-SSP [15]. Analiza je sprovedena na uzorku od 17 hidroloških stanica (HS) na prostoru Republike Srbije. Zaključeno je da je kod stanica kod kojih su se pojavile veće razlike, uzrok tome promena statističkih osobina ulaznih nizova, pre svega, asimetrije, kao i pojava većeg broja donjih izuzetaka. Dobjijene razlike su sagledane i prostorno, tako da je utvrđeno da su ove razlike bile značajnije na stanicama u jugoistočnoj i južnoj Srbiji i da se na tom području korišćenjem kalendarske godine, potcenjuju kvantili velikih voda. Interpretacija rezultata je data i na osnovu površine sliva, sa naznakom da na slivovima površine veće od 1000 km², u zavisnosti i od statističkih osobina niza, razlike mogu biti značajne.

Cilj ovog istraživanja je pronalaženje karakteristika sliva koje mogu da ukažu na potencijalnu razliku u oceni kvantila velikih voda ukoliko se u statističkoj analizi (SA) na nizovima formiranim metodom godišnjih maksimuma (GM), umesto hidrološke, koristi kalendarska godina.

Ispitivane su veze odstupanja kvantila velikih voda i uobičajenih fizičkih/morfoloških karakteristika slivova, ali i karakteristike koje mogu da oslikaju dinamiku procesa oticaja – kriva zastupljenosti protoka i statistike smera.

2. METODOLOGIJA

2.1 Razmatrano područje

Hidrološke stanice prikazane u Tabeli 1 na kojima je obavljeno osnovno istraživanje, imaju uglavnom potpune nizove osmatranja protoka u periodu obrade i zadovoljavaju uslove za SA [5]. Opseg površine slivova je od 96 do 9396 km², a najzastupljeniji slivovi u uzorku su male i srednje površine. Tri HS površine slivova 3000-5000 km² se uslovno mogu kategorisati kao srednji slivovi, dok dve HS pripadaju velikim slivovima (površina sliva > 5000 km²).

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 [13]. Lokacije HS prikazane na Slici 1 su u GIS okruženju, a tematski prostorni podaci su preuzeti sa Geoportala GeoSrbija [12].

Tabela 1. Pregled podataka o hidrološkim stanicama

Br	Podaci o HS			
	HS	Reka	Šifra	Površina sliva (km ²)
1	Majur	Lugomir	47035	427
2	Lešnica	Jadar	45892	959
3	Guberevac	Gruža	47140	491
4	Leskovac	Veternica	47665	500
5	Pirot	Nišava	47920	1745
6	Donja Kamenica	T. Timok	42935	360
7	Pepeljevac	Toplica	47850	986
8	Crnajka	Crnajka	42760	96
9	Ćemanov most	Tamnava	45917	384.6
10	Gamzigrad	C. Timok	42914	1213
11	Priboj	Lim	45842	3684
12	Korvingrad	J. Morava	47750	9396
13	Braćeveci	Visočica	47937	227
14	Niš	Nišava	47990	3870
15	Jaša Tomić	Tamiš	42401	5334
16	Dimitrovgrad	Nišava	47910	482
17	Kratovska stena	Z. Morava	47101	3077



Slika 1. Lokacije izabranih hidroloških stanica (GIS podaci: GeoSrbija; Preuzeto iz [3])

2.2 Ocene kvantila velikih voda iz nizova kalendarske i hidrološke godine

U osnovnom istraživanju [3] na čije rezultate se oslanja ovaj rad, korišćene su tri vrste nizova GM na svakoj HS, definisani i označeni na sledeći način:

1. KG - niz formiran od GM protoka iz svake kalendarske godine 1.01-31.12.
2. HG1 - niz formiran od GM iz svake hidrološke godine u periodu 1.10-30.09.
3. HG2 - niz formiran od GM protoka iz svake hidrološke godine u periodu 1.11-31.10.

Nakon formiranja nizova HG, izvršena je provera i njihove podobnosti za statističku analizu čime je utvrđeno da su svi nizovi podobni u istim periodima obrade kao i za osnovne, nizove KG [5].

Statistička analiza je sprovedena prema metodologiji iz [6] i kvantili velikih voda odabranih povratnih perioda su dobijeni prema Log-Pirson III teorijskoj funkciji raspodele verovatnoće. Razlike ocena kvantila iz oba niza HG (QT_{HG}) su određene preko procentualne razlike $PBIAS$ u odnosu na vrednosti iz KG (QT_{KG}):

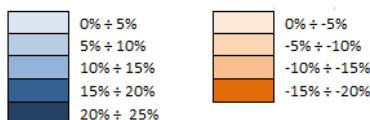
$$PBIAS = \frac{QT_{HG} - QT_{KG}}{QT_{KG}} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

Sračunate razlike ocena kvantila su prikazane u Tabeli 2. Plavom bojom su označeni veći kvantili dobijeni iz HG, a narandžastom manji u odnosu na one dobijene iz KG. Svetlije nijanse označavaju manja odstupanja, a tamnije, veća.

Tabela 2. Procentualna razlika ocene kvantila iz HG1 (gore) i HG2 (dole) u odnosu na referentni niz iz KG (Preuzeto iz: Bogojević i saradnici (2021)).

Saglasnost rezultata kvantila između Kalendarske i Hidrološke godine (1.10 - 30.09.)																			
T(x)	P(x)	HS	Korvinj	J.Tomić	Niš	Priboj	K.Stena	Piro	Gamzigr	Pepeljev	Lešnica	Leskova	Guberev	Dimitrov	Majur	Č.Most	D.Kame	Bračevci	Crnjaka
		Reka	J.Morav	Tamiš	Nišava	Lim	Z.Morav	Nišava	C.Timok	Toplica	Jadar	Veternic	Gruža	Nišava	Lugomir	Tamnav	Trg.Tim	Visočica	Crnjaka
		A [m2]	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	
Koefficient 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	

Saglasnost rezultata kvantila između Kalendarske i Hidrološke godine (1.11 - 31.10.)																			
T(x)	P(x)	HS	Korvinj	J.Tomić	Niš	Priboj	K.Stena	Piro	Gamzigr	Pepeljev	Lešnica	Leskova	Guberev	Dimitrov	Majur	Č.Most	D.Kame	Bračevci	Crnjaka
		Reka	J.Morav	Tamiš	Nišava	Lim	Z.Morav	Nišava	C.Timok	Toplica	Jadar	Veternic	Gruža	Nišava	Lugomir	Tamnav	Trg.Tim	Visočica	Crnjaka
		A [m2]	9396	5334	3870	3684	3077	1745	1213	986	959	500	491	482	427	385	360	227	96
1000	0.1	20.00	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	-5.29	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	
Koefficient 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	



2.3 Fizičke/morfološke karakteristike slivova

Ispitivanje veze razlika ocena kvantila i morfoloških karakteristika slivova i toka, urađeno je za sledeće karakteristike: 1) površina sliva A [km²], 2) dužina glavnog toka L [km], 3) apsolutni nagib toka $Iabs$ [%], 4) obim sliva O [km], 5) prosečni nagib sliva I_{sr} [%], 6) odstojanje od izlaznog profila (stanice) do projekcije težišta sliva na glavni tok L_c [km], 7) prosečna nadmorska visina sliva H_{sr} [mnm]. Podaci su preuzeti iz različitih izvora ([13], [2], [8]) i osim za površinu sliva, nema ih za sve slivove. Podaci sa kojima je rađeno istraživanje, prikazani su u Tabeli 3.

Tabela 3. Morfološke karakteristike slivova i tokova

Br.	HS	L [km]	$Iabs$ [%]	O [km]	I_{sr} [%]	L_c [km]	H_{sr} [mnm]
8	Crnajka	15	6.4	38	23.4	6.3	521
10	Gamziograd	50	2.0	175	19.8	25.4	528
6	D.Kamenica	36	5.2	97	-	-	-
11	Priboj	163	2.7	464	33.8	-	1074
2	Lešnica	66	1.14	148	-	-	-
1	Majur	45	1.7	86	21.3	19.2	390
4	Leskovac	-	-	-	-	-	623
7	Pepeljevac	54	3.1	147	26.1	10.8	800
16	Dimitrovgra	57	2.75	133	19.2	23.7	881
13	Braćeveci	27	4.3	65	21.7	14.6	1211

2.4 Krive zastupljenosti protoka

Krive zastupljenosti protoka u višegodišnjem periodu urađene su na osnovu podataka osmatranja srednjih dnevnih protoka na svim stanicama i za sve tri varijante osnovnog perioda obrade: KG, HG1 i HG2. Osrednjavanje godišnjih krivih zastupljenosti protoka obavljeno je po zastupljenostima ($z = 1, 5, \dots, 99\%$) u n godina višegodišnjeg perioda. Protok određene zastupljenosti (Q_z) u višegodišnjem periodu je računat prema izrazu:

$$Q_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{z,i} \tag{1}$$

2.5 Statistike smera

Zabeleženi datumi pojave godišnjih maksimuma na stanici mogu se analizirati pomoću statistike smera (*directional statistics*) [1], [4]. Srednji datum pojave velikih voda prikazuje se preko ugla (θ), a varijabilnost

u vremenu preko duži (r). GM se predstavljaju na jediničnoj kružnici (Slika 2), preko polarnih koordinata sa uglom otklona od x ose:

$$\theta_i = \frac{D_i \cdot 2\pi}{m} \tag{2}$$

gde je D_i redni broj dana pojave GM u i -toj godini, a m je broj dana u godini.

GM se potom može naneti na jediničnu kružnicu preko koordinata:

$$X_i = \cos(\theta_i) \text{ i } Y_i = \sin(\theta_i) \tag{3}$$

Srednji dan pojave velikih voda na razmatranoj stanici se izražava preko ugla:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\bar{Y}}{\bar{X}}\right) \tag{4}$$

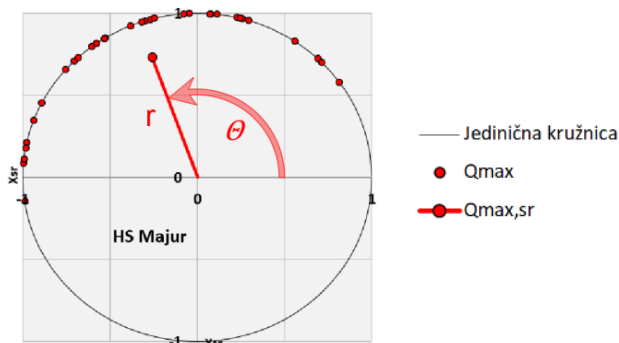
gde se koordinate izražavaju kao srednja vrednost X_i i Y_i

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \cos(\theta_i)}{n} \text{ i } \bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n \sin(\theta_i)}{n} \tag{5}$$

za broj godina n , odnosno broj datuma pojava GM.

Varijabilnost svih datuma pojave GM definiše vektor r čiji je smer određen preko argumenta θ a intezitet:

$$r = \sqrt{\bar{X}^2 + \bar{Y}^2} \tag{6}$$



Slika 2. Pojedinačni (tačke) i srednji datumi pojave velikih voda prikazani u polarnim koordinatama, koeficijent θ i r

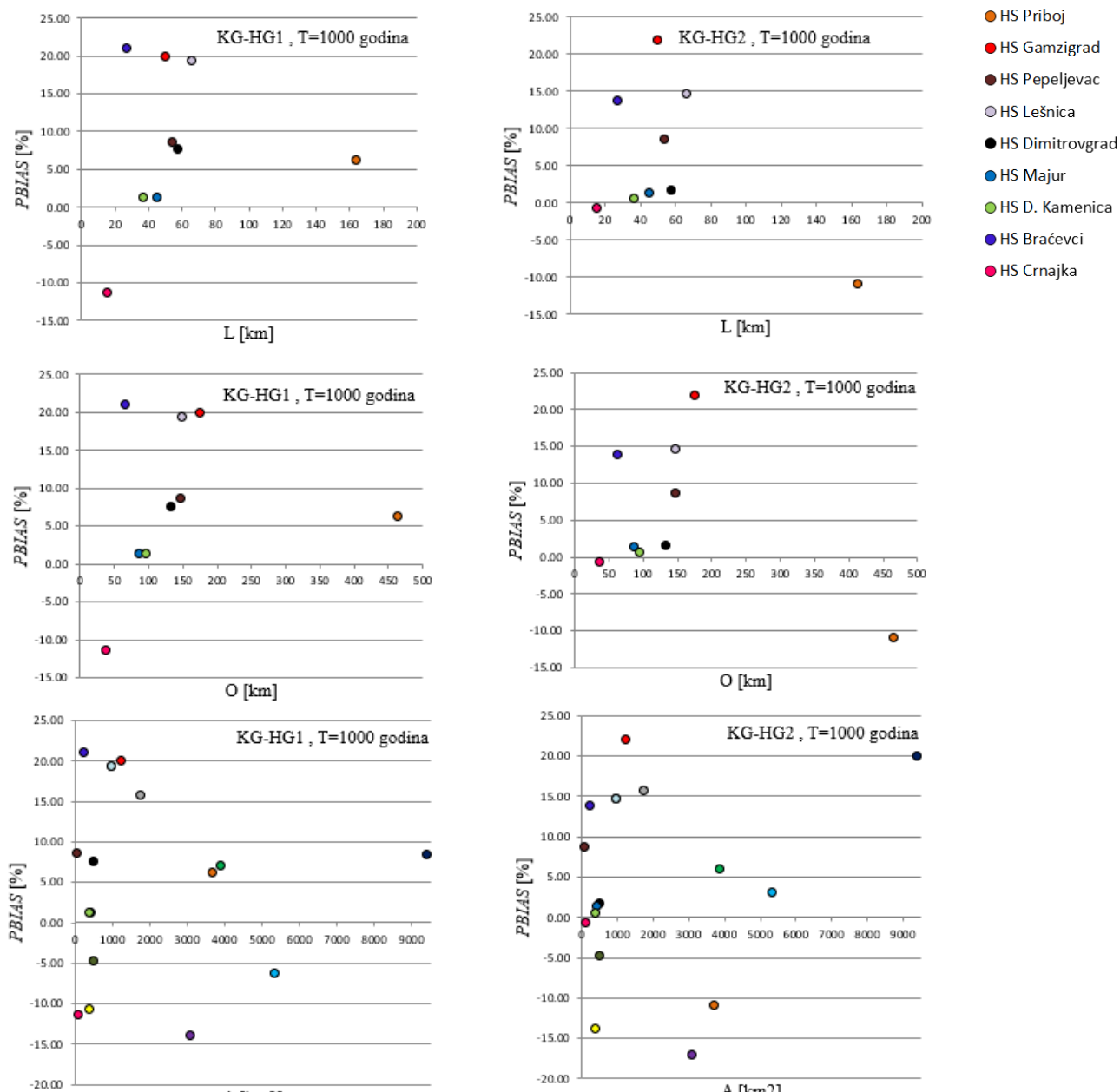
Intezitet vektora r teorijski može iznositi 0 u slučaju da se velike vode uniformno javljaju u svim sezonama tokom višegodišnjeg perioda. Vrednost 1 bi se javila da se GM u višegodišnjem periodu uvek javljaju istog dana u godini.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1 Morfološke karakteristike

Na Slici 3 u formi x-y dijagrama, prikazane su procentualne razlike kvantila i tri odabrane morfološke karakteristike, za koje je bilo najviše podataka: površina

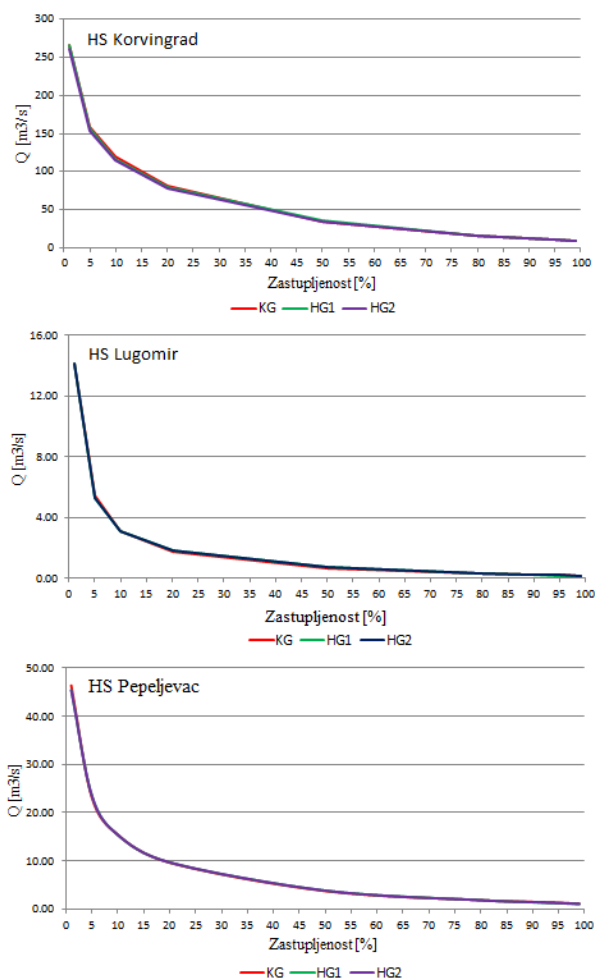
sliva, dužina toka i obim sliva. Sa dijagrama je očigledno da se za sve slivove ne može uspostaviti jedinstvena veza između razlika ocena kvantila i razmatranih atributa. Uspostavljanje veze je isprobano i u semilogaritamskoj razmeri, bez ikakvih poboljšanja.



Slika 3. Zavisnost dobijenih ocena kvantila povratnih perioda 1000 god od dužine toka (L), obima sliva (O) i površine sliva (A).

3.2 Krive zastupljenosti protoka

Krive zastupljenosti protoka dobijene na tri karakteristične stanice, prikazane su na Slici 4, dok su u Tabeli 4 dati rezultati poređenja krivih na tim stanicama. Karakteristična stanica Korvingrad je odabrana zbog najizraženije razlike ocene kvantila velikih voda između KG i HG1,2 u uzorku. HS Lugomir i Pepeljevac odabrane su po suprotnom kriterijumu. U oblasti većih zastupljenosti protoka (>90%) se javljaju veće razlike primenom HG1, dok su u oblasti manjih zastupljenosti razlike neznatne (Tabela 4). Usled zanemarljivih razlika između krivih zastupljenosti protoka, krive na ostalim stanicama nisu prikazane u radu.



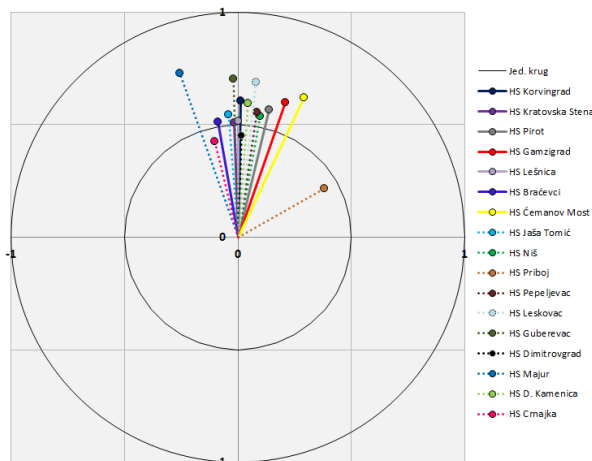
Slika 4. Krive zastupljenosti formirane iz KG, HG1 i HG2 na HS Korvingrad, HS Lugomir i HS Pepeljevac

Tabela 4. Relativna procentualna razlika krivih zastupljenosti između referentne KG i HG1/HG2

Zastupljenost [%]	HS Korvingrad		HS Lugomir		HS Pepeljevac	
	HG1	HG2	HG1	HG2	HG1	HG2
99	-7.9	-3.8	-15.0	-2.5	-4.6	-2.2
95	-4.6	-4.4	-6.6	-1.7	-7.6	-4.5
90	-3.9	-4.0	-5.3	-0.4	-4.7	-2.6
80	-0.6	-3.6	-4.8	-3.1	-0.1	-1.5
50	5.2	2.6	5.4	5.6	2.8	2.6
20	-1.6	-4.	4.3	4.6	0.5	0.7
10	-1.7	-3.4	0.6	0.1	-0.2	-0.1
5	-1.7	-3.4	-2.1	-2.3	1.5	1.3
1	0.2	-1.6	0.1	-0.1	-2.0	-2.1

3.3 Statistike smera

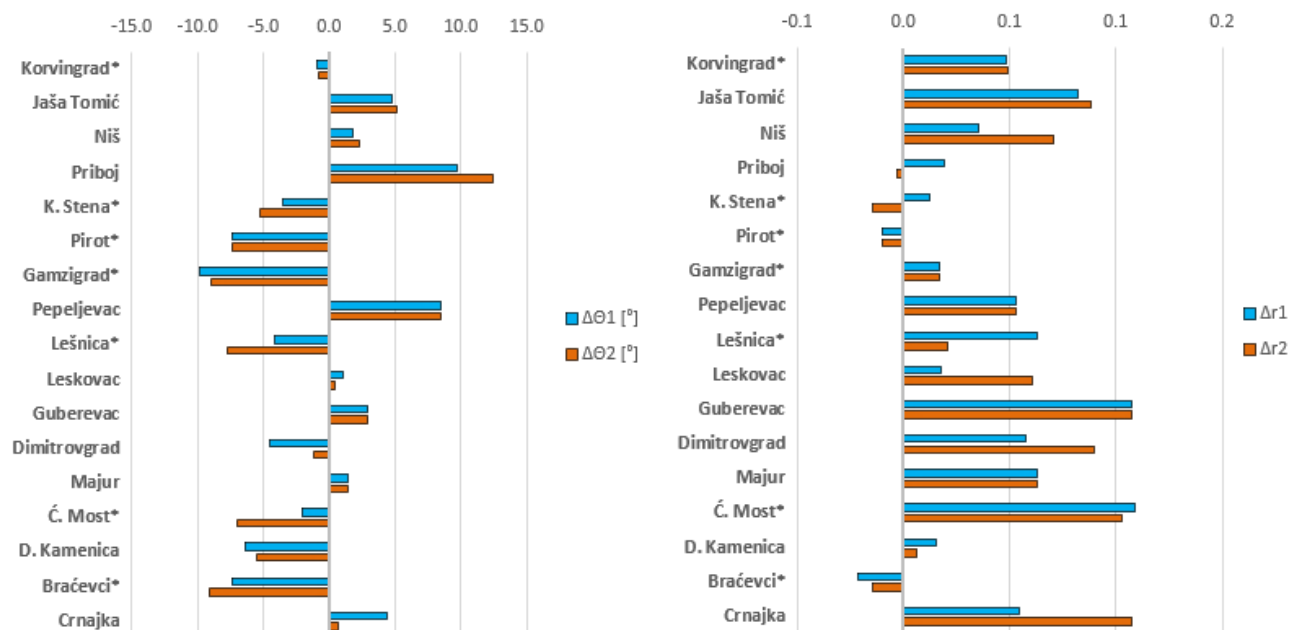
Zbirni dijagram na kome je za sve stanice prikazan srednji datum pojave GM prema KG dat je na Slici 5. Puna linija označava stanice sa procentualnom razlikom ocene kvantila T=1000 godina većom od |10|%, a isprekidana sa manjom od te vrednosti.



Slika 5. Sezonski pokazatelji velikih voda primenom statistike smera – Stanice sa značajnom razlikom ocene kvantila T=1000 god. predstavljene su punom linijom.

Sa Slike 5 se može uočiti da se slivovi kod kojih su razlike ocene kvantila značajne, ne izdvajaju niti grupišu prema uglu θ ili prema dužini duži r .

Realizovane razlike statistika smera prikazane su trakastim dijagramima na Slici 7 za obe statistike. Stanice sa značajnom razlikom ocene kvantila T=1000 godina, označene su zvezdicom *.



Slika 6. Izvedene razlike indeksa statistike smera na razmatranim stanicama iz uzorka u odnosu na KG.

Na dijagramu levo (Slika 6) prikazana je promena ugla θ između KG - HG1, 2. Negativna promena ugla θ ukazuje na to da se na svim HS sa značajnom razlikom ocene kvantila, srednji datum pojave velikih voda u HG 1 i 2, javlja kasnije u odnosu na srednji datum pojave u KG.

Na dijagramu desno (Slika 6) prikazuje se promena duži r između KG-HG1,2. Upoređivanjem vrednosti i predznaka promene Δr sa razlikama ocena kvantila u [3], konstatuje se da varijabilnost u vremenu nema uticaj na razliku ocena kvantila velikih voda.

3.4 Statistike smera i hidrološki režim

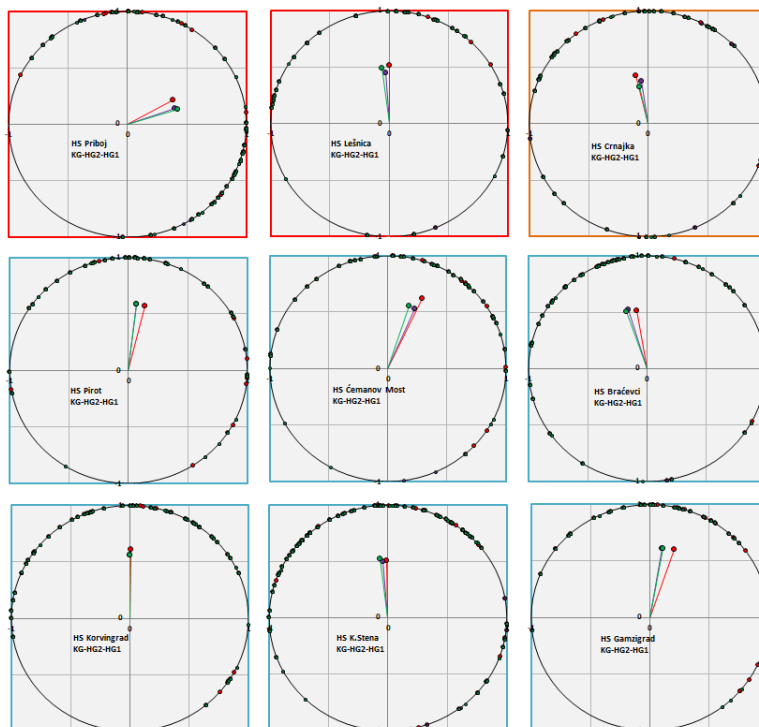
Dijagrami statistika smera na svim stanicama za sve tri ispitivane godine, kategorisani su u dve grupe prema značajnosti razlike ocene kvantila velikih voda. Na Slici 7, nalaze se stanice kod kojih su razlike kvantila za veće povratne periode značajne, a na Slici 8, one kod kojih to nije slučaj.

Hidrološki režim na stanicama je označen bojom okvira dijagrama. Podela režima usvojena je na osnovu rezultata istraživanja [11] za period 1961-1990, gde se javljaju još i režim Dunava kome pripada sliv Crnajke (narandžast okvir) i režim reke Tise. Crvenom bojom

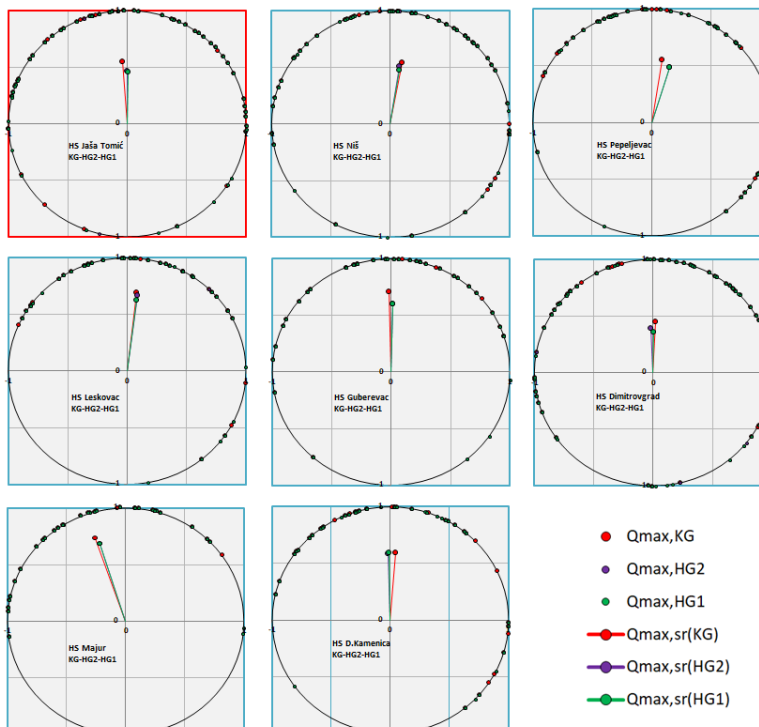
uokvireni su dijagrami koji pripadaju režimu reka Lim i Drina. Za ove reke karakterističan je dvosezonski režim velikih voda koje se javljaju u decembru i krajem aprila. Decembarški poplavni talasi u režimu Lima imaju niži maksimum od prolećnih, iz aprila. Plavom bojom označen je okvir dijagrama na hidrološkim stanicama u kontinentalnom režimu. Ovom režimu pripada najveći broj reka iz ove ispitivanog uzorka, sa teritorije centralne Srbije - Velika Morava, Južna i Zapadna Morava, Nišava, Toplica, Ibar, Kolubara i Beli Timok. Reprezent ovog režima je Velika Morava čiji je maksimum u proleće, u aprilu [11].

Na dijagramima statistika smera (Slika 7 i Slika 8) stiče se uvid u intenzitet i pravac pružanja vektora r kada se HS posmatraju u okviru iste grupe, prema značajnosti razlike ocene kvantila iz KG i HG1,2. Grafički je prikazana realizovana razlika ugla θ između vektora koji se formiraju iz KG i HG1,2.

Rezultati ukazuju da se velike vode na ispitivanim slivovima reka na teritoriji Srbije u najvećoj meri javljaju u proleće, gde se ugao θ kreće od 70-110°. S druge strane, ne može se utvrditi veza između dijagrama koji pripadaju istom hidrološkom režimu sa istim redom veličine razlike ocena kvantila.



Slika 7. Sezonski pokazatelj velikih voda primenom statistike smera – Stanice sa značajnom razlikom ocene kvantila T=1000 god. (>10%) grupisane po hidrološkim režimima velikih voda prema [11]. Boja dijagrama odgovara režimu.



Slika 8. Sezonski pokazatelj velikih voda primenom statistike smera – Stanice sa prihvatljivom razlikom ocene kvantila T=1000 god. (<5%) grupisane po hidrološkim režimima velikih voda [11]. Boja dijagrama odgovara režimu.

4. ZAKLJUČAK

Primena metodologije za ocenu velikih voda prema Biltenu 17C, kada se kao osnovni period obrade koriste kalendarska i hidrološka godina, dala je različite rezultate ocene kvantila [3]. Značajne razlike ocene kvantila (10-20%) prisutne su za velike povratne periode (200, 500 i 1000 godina) i to na sedam od sedamnaest ispitivanih HS. Utvrđeno je da je od statističkih osobina niza, glavni faktor pojave većih razlika ocene kvantila, promena koeficijenta asimetrije (C_s) HG2 u odnosu na KG. Donji izuzeci takođe utiču na povećanje razlika ocene kvantila ukoliko se jave u znatno većoj meri sa promenom KG u HG2. Rezultati su ukazali i na mogućnost da se za slivove površine preko 1000 km² prilikom izbora merodavnih velikih voda, u razmatranje uključe računске velike vode dobijene iz kalendarske i hidrološke godine (HG2) [3].

U ovom radu je na istom uzorku stanica ispitivano da li se unapred može znati koje karakteristike sliva će dovesti do veće razlike ocene kvantila iz kalendarske i hidrološke godine. Razlike ocene kvantila povratnog perioda 1000 godina koje su bile najveće kod svih stanica, poređene (korelirane) su sa sedam morfoloških karakteristika slivova i nije pronađena veza među njima. Za sve stanice su urađene i krive zastupljenosti protoka u višegodišnjem periodu za sva tri razmatrana osnovna perioda obrade, kalendarsku i dve hidrološke godine. Dobijene razlike između protoka najmanjih zastupljenosti ne prelaze 2.5 % ni kod stanica na kojima su zabeležene najveće razlike ocena kvantila. Ove krive se, međutim, razlikuju u oblasti velikih zastupljenosti protoka (malih voda) i ta razlika je veća za hidrološku godinu sa početkom 01.10. što može biti potvrda o pomeranju kraja malovodnog perioda ka septembru, kao što je dobijeno za period 1961-1990 [11]. Zatim su ispitivane statistike smera i poređene razlike srednjih datuma pojave i varijabilnosti godišnjih maksimuma u okviru osnovnih perioda obrade. Primećeno je jedino da kod stanica koje daju veće razlike ocene kvantila, dolazi do kasnijeg srednjeg datuma pojave godišnjeg maksimuma u hidrološkim u odnosu na kalendarsku godinu – povećava se ugao θ . Grupisanje stanica po hidrološkim režimima [11] takođe nije doprinelo povezivanju uzroka pojave veće razlike ocene kvantila.

Svaka dalja potraga za karakteristikama slivova koje bi mogle ukazati da će se dobiti značajne razlike kvantila velikih voda ukoliko se umesto kalendarske godine primeni hidrološka, zahtevali bi još više podataka i

komplikovanije analize, što je za istraživanje privlačno, ali je pitanje koliko bi bilo korisno za praksu.

Rezultati upućuju da je za praksu najjednostavnije rešenje da se kvantili velikih voda ocene iz jedne i druge godine i da se na osnovu dobijenih rezultata donese konačna odluka o merodavnim vrednostima. Preporuka je važna i imajući u vidu da je ovo istraživanje ograničeno na metodologiju iz Biltena 17C – teorijsku raspodelu LPT3, MGB test za otkrivanja donjih izuzetaka i zasecanje niza sa donje strane kao načina postupanja sa njima.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je delom nastao u okviru istraživanja koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Srbije. Autori se zahvaljuju RHMZ Srbije na podacima korišćenim u radu. Autori se takođe zahvaljuju i dr Vladislavi Mihailović na korisnim sugestijama u istraživanju.

LITERATURA

- [1] Bayliss, A. C. and Jones, R. C. (1993) Peaks-over-threshold flood data-base: summary statistisc and seasonality, *Institute od Hydrology, Wallingford, UK*, 61p.
- [2] Blagojević, B. (2011) Razvoj modela za prostornu interpolaciju hidroloških vremenskih serija na neizučnim profilima. Doktorska teza, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet.
- [3] Bogojević, A., Đenić, N., Blagojević, B. (2021) Statistička analiza velikih voda: Kalendarska i hidrološka godina. 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)
- [4] Burn, D. (1997) Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures, *Journal of Hydrology*, p. 212–230.
- [5] Đokić, N., Blagojević, B., Mihailović, V. (2021) Postupci za dobijanje trenutnih maksimuma na osnovu mešovityh nizova maksimalnih godišnjih protoka. *Zbornik radova 19. Naučnog savetovanja Srpsog 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)
- [6] 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
- [7] 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.
- [8] Imširović, Š. (2020) Regionalana analiza karakteristika velikih voda na teritoriji Srbije i Bosne i Hercegovine u periodu 1961. – 1990. Diplomski rad, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu
- [9] Jovanović, S. (1989). *Tehničar 6*. Beograd: Građevinska knjiga.
- [10] Prohaska, S. (2006) *HIDROLOGIJA II DEO*. Beograd: Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi".
- [11] Radić, Z., Mihailović, V. (2006) Teorijske osnove i proširenje oblasti primene strukturne analize dnevnih hidroloških serija. *Vodoprivreda* (38). 219-221. p. 3-22
- [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
- [14] Struna (-) Preuzeto sa <http://struna.ihjj.hr/naziv/hidroloska-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).

ANALYSIS OF CATCHMENT ATTRIBUTES EFFECT ON FLOOD FLOW QUANTILE ESTIMATES FROM HYDROLOGIC AND CALENDAR YEAR

by

Aleksandar BOGOJEVIĆ, Nikola ĐENIĆ, Borislava BLAGOJEVIĆ

*University of Niš, Faculty of Civil Engineering and Architecture

Summary

The assessment of flood quantiles on a sample of seventeen hydrological stations in the territory of Serbia showed that at some stations, significant differences of quantile estimates ($>|10\%$) were obtained for return periods over 100 years, when using a calendar instead of a hydrological year. The examined stations are diverse according to location (belonging to the catchments of larger rivers), catchment area (small, medium and large) and other characteristics. In common to all stations is the completeness of the annual maxima input data sets, ranging from 33 to 87 years long. The aim of this paper is to examine whether some of the basin characteristics

may indicate that the usual, calendar year should be changed for hydrological year, when estimating flood quantiles. The morphological attributes of the basin were analyzed as constant attributes, but also those able to provide an insight into the dynamics of runoff: flow duration curves and flood seasonal diagrams using directional statistics.

Keywords: flood quantile, calendar year, hydrologic year, morphological attributes, flow duration curve, directional statistics

Redigovano 3.11.2021.